

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

Vinícius Eduardo Moreira

**DESEMPENHO E RESPOSTAS TERMORREGULATÓRIAS DE SUÍNOS DE
GENÓTIPOS COMERCIAL E CRUZADO (COMERCIAL × PIAU) SUBMETIDOS A
CONDIÇÕES DE TERMONEUTRALIDADE E ALTA TEMPERATURA AMBIENTE**

Diamantina

2020

Vinícius Eduardo Moreira

**DESEMPENHO E RESPOSTAS TERMORREGULATÓRIAS DE SUÍNOS DE
GENÓTIPOS COMERCIAL E CRUZADO (COMERCIAL × PIAU) SUBMETIDOS A
CONDIÇÕES DE TERMONEUTRALIDADE E ALTA TEMPERATURA AMBIENTE**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Reis Furtado Campos

Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Renata Veroneze

Diamantina

2020

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

M838d

Moreira, Vinícius Eduardo

Desempenho e respostas termorregulatórias de suínos de genótipos comercial e cruzado (comercial × piau) submetidos a condições de termoneutralidade e alta temperatura ambiente / Vinícius Eduardo Moreira, 2020.

63 p.: il.

Orientador: Paulo Henrique Reis Furtado Campos

Dissertação (Mestrado– Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2020.

1. Adaptação. 2. Genótipo. 3. Estresse por calor. 4. Raça nativa. 5. Termotolerância. I. Campos, Paulo Henrique Reis Furtado. II. Título. III. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

CDD 636.4082

Ficha Catalográfica – Sistema de Bibliotecas/UFVJM
Bibliotecária: Viviane Pedrosa – CRB6/2641

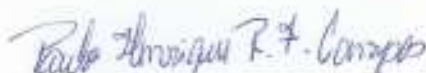
VINÍCIUS EDUARDO MOREIRA

**DESEMPENHO E RESPOSTAS TERMORREGULATÓRIAS DE SUÍNOS DE
GENÓTIPOS COMERCIAL E CRUZADO (COMERCIAL X PIAU)
SUBMETIDOS A CONDIÇÕES DE TERMONEUTRALIDADE E ALTA
TEMPERATURA AMBIENTE**

Dissertação apresentada ao
MESTRADO EM ZOOTECNIA, nível
de MESTRADO como parte dos
requisitos para obtenção do título de
MESTRE EM ZOOTECNIA

Orientador (a): Prof. Dr. Paulo
Henrique Reis Furtado Campos

Data da aprovação : 21/02/2020



Prof.Dr. PAULO HENRIQUE REIS FURTADO CAMPOS - UFV



Prof.Dr. LEONARDO DA SILVA FONSECA - UFVJM



Prof.Dr. BRUNO ALEXANDER NUNES SILVA - UFMG

DIAMANTINA

*“Dedico este trabalho aos meus pais, sem
eles este sonho não seria possível”*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida e por permitir que com saúde eu concretizasse mais um sonho.

Se cheguei aqui devo tudo aos meus pais, agradeço pelo carinho, amor e, principalmente por confiarem em minhas “*loucuras*”. Ao meu Pai *Assis*, sou grato por estar sempre presente em meu ensino de base, devido a uma demanda quase que diária (hehehe!) por sua presença no colégio. GRATO PAI! À minha Mãe *Gonsala*, muito obrigado por ser um anjo em forma de pessoa e pelas orações diárias, sei que não foi fácil trabalhar durante todo o dia e pernoitar na fila para conseguir vaga em uma escola pública de qualidade. Serei eternamente grato pelo seu sacrifício diário para me proporcionar algo que você não teve. MÃE, TE AMO!

Aos meus irmãos *Raphael* e *Leticia* por acreditarem, lutarem e torcerem nesses anos todos.

Sou grato à minha namorada *Angélica* que sempre esteve comigo desde a minha graduação e me apoiou em todos os momentos, soube compreender quando eu não podia estar presente e me deu forças para vencer mais esta etapa da minha vida. Obrigado amor!

Aos meus tios, Celma (Bete) e José Luiz (Zé Luiz) por estarem sempre ao nosso lado em todos os momentos. Aos primos Renan, Igor e Raissa pelo carinho e pelos bons momentos vividos. À minha cunhada Jéssica e minha querida sobrinha Àghata por me proporcionarem momentos de felicidade. À Thayssa por estar sempre disposta a me ouvir e debater sobre estatística (hehehe!).

Ao José Antônio (Zé), Estefânia e aos companheiros da república “Xapô Kabô” pela colaboração e companheirismo durante a minha estadia em Jaboticabal.

Aos funcionários e estagiários da Granja de Melhoramento de Suínos (Ricardo, Léo, Vanildo e Edinaldo) da UFV e ao Alípio pelo empenho, dedicação e amizade durante e após a execução deste projeto. Aos estagiários, sem eles não seria possível a realização desta dissertação.

Aos professores do Departamento de Zootecnia da UFVJM que foram pessoas cruciais para minha formação não só como Zootecnista, mas também como pessoa. Aos professores do DZO/UFV professor Paulo Henrique Reis Furtado Campos pela orientação, apoio e confiança, e à Professora Renata Veroneze pelos conhecimentos compartilhados ao longo da realização do meu experimento.

Agradeço a banca examinadora pela honra em aceitar meu convite para participar dessa defesa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológico - Brasil (CNPq).

Muitíssimo Obrigado!

“É Deus quem aponta a estrela que tem que brilhar”

RESUMO

Este estudo foi conduzido para avaliar os efeitos da termoneutralidade (TN: 22 °C) e da alta (HT: 30 °C) temperatura ambiente sobre o desempenho e respostas termorregulatórias de suínos em crescimento de linhagem comercial e cruzados (macho da raça Piau × fêmeas linhagem comercial), sob a hipótese de que o cruzamento de raças locais não melhoradas com genótipos comercial melhora a termotolerância da progênie. Para atingir nosso objetivo, suínos comercial e cruzados Piau (70 kg peso vivo inicial) foram alocados em condições de TN ou HT durante 14 dias de experimento. Os animais foram alojados individualmente com base no PV às condições de temperatura ambiente. Independente da temperatura ambiente, suínos cruzados Piau possuíram similar consumo médio diário (CMD), baixo ganho de peso diário (GPMD), pior conversão alimentar (CA), maior espessura de toucinho (ET) e menor área de olho de lombo (AOL) que os animais da linhagem comercial. Seja qual for o grupo genético, a exposição dos suínos à HT resultou em decréscimo do CMD, GPMD e pior CA. A temperatura ambiente não afetou a deposição lipídica a apenas a AOL dos animais comercial reduziu na HT. Os animais em HT tiveram um aumento duradouro nas temperaturas corporal e retal, além do aumento da frequência respiratória em comparação aos animais em TN. As concentrações de T_3 e T_4 totais não foram afetadas pela temperatura ambiente em suínos comercial, enquanto que os suínos cruzados Piau mantidos à 30 °C apresentaram um decréscimo transitório em ambos hormônios no dia 2 ($p < 0,01$). As concentrações séricas de cortisol não foram afetadas ($p > 0,05$) tanto pelo genótipo quanto pela temperatura ambiente. Em suma, suínos cruzados Piau foram menos eficientes em utilizar os nutrientes para crescimento em associação com uma maior deposição lipídica quando comparados com suínos comercial. Considerando que parece que a heterose em relação aos genes da raça Piau não melhora significativamente a tolerância à alta temperatura ambiente em suínos.

Palavras-chave: adaptação, genótipo, estresse por calor, raça nativa, termotolerância

ABSTRACT

This study was performed to evaluate the effects of thermoneutral (TN: 22 °C) and high (HT: 30 °C) ambient temperatures on thermoregulatory responses and performance of commercial and crossbred (Piau breed males × commercial females) growing pigs, under the hypothesis that crossbreeding of non-selected local pig breeds with commercial genotypes would improve thermotolerance of progeny pigs. To achieve our goal, commercial and Piau crossbred pigs (70 kg initial BW) were reared under TN or HT conditions during a 14-day experimental period. Pigs were individually assigned on the basis of similar BW to the ambient temperature conditions. Irrespective of ambient temperature, Piau crossbred pigs had similar feed intake (ADFI), lower daily gain (ADG), worse feed conversion ratio (FCR), greater backfat thickness (BF) and decreased loin-eye area (LEA) than commercial pigs. Whatever the genetic group, pigs exposure to HT resulted in decreased ADFI, ADG, and worse FCR. Ambient temperature did not affect lipid deposition and only commercial pigs had decreased LEA at HT. Pigs at HT had a long-lasting increase in body and rectal temperatures besides increased respiratory rate compared to TN pigs. Total T3 and T4 concentrations were not affected by ambient temperature in commercial pigs, whereas Piau crossbred pigs kept at 30 °C had a transient decrease in both hormones at day 2 ($p < 0.01$). Serum cortisol concentrations were not affected ($p > 0.05$) by genotype nor ambient temperature. In summary, crossbred Piau pigs had lower efficiency to use nutrients for growth in association with increased lipid deposition when compared to commercial pigs. Whereas, it seems that heterosis relative to Piau breed genes does not significantly improve pigs tolerance to high ambient temperatures.

Key words: adaptation, genotype, heat stress, native breeds, thermotolerance

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - Resumo das vias de ganho e perda de calor relacionadas à homeotermia em suínos (COLLIER <i>et al.</i> , 2012).....	26
FIGURA 2 - Esquema básico dos sistemas de controle de feedback (COLLIER <i>et al.</i> , 2012)	27
FIGURA 3 - Esquema do perfil termorregulador da temperatura corpórea e das rotas de troca de energia em função da temperatura ambiente (MOUNT, 1974).....	29
FIGURA 4 - Efeito da temperatura ambiente sobre o consumo de ração de suínos de 50kg, 60kg e 70kg de peso vivo. ADAPTADO DE RENAUDEAU <i>et al.</i> , 2011	34
FIGURA 5 - Efeito da temperatura ambiente sobre o ganho médio diário de suínos de 50kg, 60kg e 70kg de peso vivo. ADAPTADO DE RENAUDEAU <i>et al.</i> , 2011	35
FIGURA 6 - Exemplares de suínos naturalizados da raça piau da unidade de ensino, pesquisa e extensão em melhoramento de suínos da universidade federal de viçosa	38
FIGURE 7 - Graphical representation of nape, dorsal and flank body temperatures measured trough thermographic analysis in pigs reared under thermoneutral and high ambient temperatures.....	48
FIGURE 8 - Profile variation of nape (A), dorsal (B), flank (C) and rectal (D) temperatures, and respiratory rate (E) of commercial and piau crossbred (commercial line × Piau breed) pigs as a function of ambient temperature	53
FIGURE 9.- Serum triiodothyronine (A and B), thyroxine (C and D) and cortisol (E and F) concentrations of commercial and piau crossbred (commercial line × Piau breed) pigs as a function of ambient temperature.	54

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Condições térmicas recomendadas para suínos em diferentes categorias.	30
TABELA 2 - Valores de temperaturas cutânea e retal, e frequência respiratórias apresentados por trabalhos prévios	32
TABLE 3 - Effects of ambient temperature on performance and carcass parameters of commercial and piau crossbred (commercial dam line × piau sire) pigs	50
TABLE 4 - Effects of ambient temperature on thermoregulatory responses and blood parameters of commercial and piau crossbred (commercial line × piau breed) pigs.	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal

ADFI – Average Daily Feed Intake

ADG – Average Daily Gain

ANOVA – Análise de Variância

bpm - breaths per minute

°C – Graus Celsius

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CT – Cutaneous Temperature

DT – Dorsal temperature

F1 – Cruzamento entre suíno Comercial e Piau

FAO - Food and Agriculture Organization

FAPEMIG - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais

FC – Feed Conversion

FT – Flank temperature

g – Grama

HT – High Ambient Temperature

IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

Kg – Quilograma

mm - Millimeter

NT – Nape temperature

OMM - Organização Meteorológica Mundial

RR – Respiratory rate

RT – Rectal Temperature

T3 - Triiodotironina

T4 - Tiroxina

TCI – Temperatura Crítica Inferior

TCS – Temperatura Crítica Superior

TN – Thermoneutrality

UFV – Universidade Federal de Viçosa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1	O Clima e a produção animal	25
2.2	Princípios do sistema termorregulador	25
2.3	Consequências da alta temperatura ambiente no desempenho dos suínos	33
2.4	Estratégias para atenuar os efeitos da alta temperatura ambiente	35
2.5	Caracterização da raça naturalizada piau	36
3	REFERÊNCIAS	39
4	ARTICLE: THERMOREGULATORY RESPONSES AND PERFORMANCE OF COMMERCIAL AND CROSSBRED (PIAU BREED MALES × COMMERCIAL FEMALES) PIGS REARED UNDER THERMONEUTRAL AND HIGH AMBIENT TEMPERATURES	45
4.1	Introduction	45
4.2	Materials and methods	46
4.3	Results	49
4.4	Discussion	55
4.5	Conclusion	59
4.6	References	61

1 INTRODUÇÃO

A suinocultura é uma das atividades de produção de proteína animal mais importantes do planeta. Por sua vez, a carne suína é a segunda mais consumida no mundo, atrás apenas da carne de frango (OECD, 2019). Ainda, prevê-se mudanças em seus padrões de consumo devido a fatores como o crescimento populacional, aumento de renda e urbanização (HENCHION *et al.*, 2017). Tais taxas de crescimento da produção ocorrerão principalmente nos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil (OECD, 2018).

É importante ressaltarmos a importância social e econômica da suinocultura para o nosso país. Com uma produção superior a 3,75 milhões de toneladas de carcaça, e exportando cerca de 18% deste total, em 2017 o Brasil foi o 4º maior produtor e exportador mundial de carne suína (ABPA, 2018). Além disso, esta atividade gerou mais de um milhão de empregos de forma indireta e direta (ABCS, 2016). Portanto, é fácil compreender o papel da produção suinícola na economia brasileira.

As principais linhagens utilizadas em nosso país são majoritariamente provenientes de cruzamentos de raças europeias e norte asiáticas onde predomina-se temperaturas mais amenas. Por este ângulo, um dos principais limitantes da produção suinícola no Brasil, onde predomina-se o clima tropical e as altas temperaturas, é o estresse por calor. Deste modo, faz-se indispensável o entendimento da capacidade fisiológica de adaptação dos suínos a estas condições e assim assegurar o desempenho máximo e o bem-estar dos animais (RODRIGUES, 2010). Animais termotolerantes são aqueles que, em alta temperatura ambiente, mantêm a homeotermia sem perdas produtivas e reprodutivas (CARABAÑO *et al.* 2019). Renaudeau *et al.* (2007) demonstraram que suínos da raça caribenha Crioula (raça tropical local) são mais adaptados ao calor do que animais *Large White*. Além disso, Rosé *et al.* (2017) e Gourdine *et al.* (2019) mostraram variação genética na termotolerância de suínos, sugerindo que essa característica pode ser melhorada por meio de seleção.

Uma atenção especial tem sido dada ao desenvolvimento e adoção de estratégias ambientais, nutricionais e / ou genéticas para atenuar os efeitos negativos das altas temperaturas ambiente. O melhoramento genético parece ser uma estratégia mais consistente, pois pode produzir uma adaptação permanente e intrínseca no animal (OSEI-AMPONSAH *et al.* 2019) sem custos extras transitórios. Embora as raças nativas tenham desempenho inferior às linhagens modernas, elas podem conter combinações alélicas com características desejáveis para a produção de suínos, a fim de lidar com os desafios impostos pelas condições climáticas brasileiras (BULOS 2013, BOLLERO *et al.* 2009).

O suíno nativo brasileiro Piau é uma raça do tipo banha caracterizada pela rusticidade, adaptabilidade às condições ambientais brasileiras e também maior resistência a doenças (MARIANTE et al., 2003, SOLLERO et al., 2009), porém apresenta baixo desempenho produtivo e muscularidade, e maior gordura subcutânea e intramuscular quando comparada às linhas comerciais (SERÃO et al., 2011, VERONEZE et al., 2014). Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar se a progênie de suínos cruzados (fêmea comercial \times macho raça Piau) possui menor ativação das respostas termorregulatórias quando comparada aos genótipos comerciais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O Clima e a produção animal

O Clima pode ser descrito como a média e a variabilidade das condições atmosféricas (temperatura, precipitação e vento) em uma determinada região dentro de um espaço de tempo [Organização Meteorológica Mundial (OMM), 2019]. Este possui interferência direta sobre a produção animal principalmente no que tange ao bem-estar dos animais. Assim, o correto planejamento do sistema de produção, desde a determinação da localização das instalações até a escolha do material genético utilizado, devem passar pelo conhecimento do clima local. Contudo, a ação do homem tem modificado as condições climáticas e dificultado a sua compreensão e predição. O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2018) tem relatado aumentos na temperatura média da superfície global e projetam também um possível aumento da temperatura terrestre em torno de 1,5°C até 2052. Visto isto, um dos principais gargalos da suinocultura brasileira é a exploração do máximo potencial genético das linhagens comerciais modernas tanto no aspecto reprodutivo quanto produtivo. Isto se dá ao fato de que o melhoramento genético dos animais sempre objetivou o atendimento das necessidades nutricionais, genéticas, sanitárias e de manejo, porém, os avanços têm sido minimizados pelo ambiente térmico (BRIDI, 2010). Deste modo, a compreensão das respostas termorregulatórias dos suínos frente a uma condição de alta temperatura ambiente torna-se importante para a tomada de decisão dentro da suinocultura contemporânea. Os próximos tópicos têm por objetivo apresentar os processos envolvidos na aclimação ao estresse por calor e os seus efeitos sobre o desempenho dos animais.

2.2 Princípios do sistema termorregulador

Suínos são animais homeotérmicos e por meio de ajustes comportamentais, metabólicos e/ou fisiológicos mantêm a sua temperatura interna dentro de uma estreita faixa de temperatura que varia conforme a sua idade, peso e estágio fisiológico (RODRIGUES *et al.*, 2010). Homeotérmicos é uma classe de animais capazes de produzir calor por meio do aumento do metabolismo e, assim manter a sua temperatura interna independente do ambiente externo (SILVESTRI *et al.*, 2005). Assim, existe uma referência para a temperatura interna e, quando ocorrem alterações, respostas são ativadas para a manutenção da homeotermia. Einer-Jensen *et al.* (1999) definem a temperatura retal normal (indicador fisiológico da temperatura interna) de

suínos em 39,2°C podendo variar entre 38 e 40°C de acordo com as condições ambientais e idade dos animais.

A termorregulação é um balanço entre os mecanismos de produção e perda de calor que transcorrem com intuito de conservar a temperatura interna constante. Quando submetidos à alta temperatura ambiente, suínos tendem a reduzir sua carga térmica através do aumento da dissipação de calor, por meio das vias sensíveis e latentes, e diminuição da produção de calor (RENAUDEAU *et al.*, 2012, FIGURA 1).

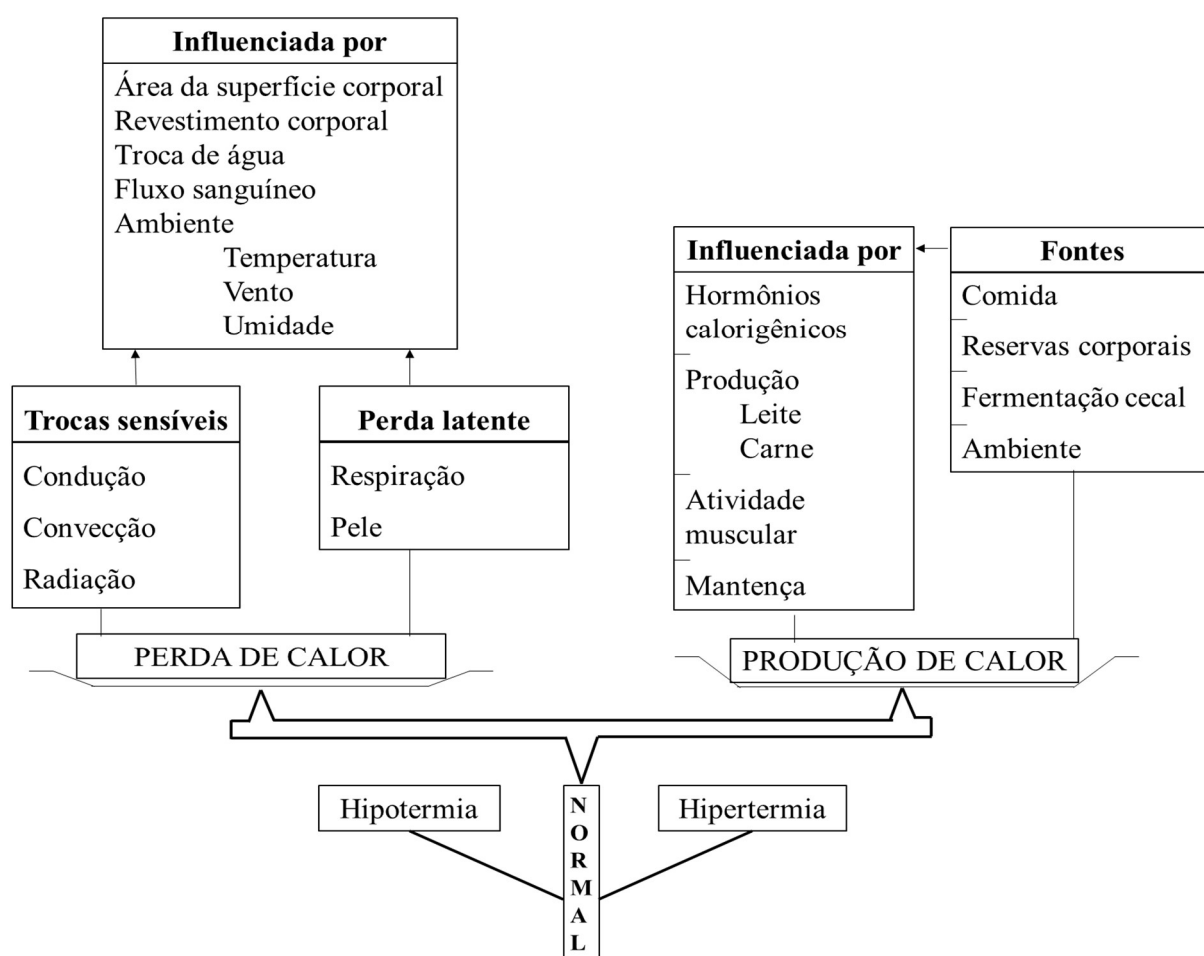


Figura 1 - Resumo das vias de ganho e perda de calor relacionadas à homeotermia em suínos (COLLIER *et al.*, 2012)

A figura 2 mostra um esquema básico dos sistemas de controle de feedback proposto por Collier *et al.*, 2012. Este baseia-se em um sistema controlado sujeito a uma perturbação em sua normotermia (temperatura normal do corpo). Qualquer desvio dos valores acima ou abaixo do limiar hipotalâmico são detectados pelos termorreceptores e um sinal de retroalimentação correspondente é gerado. Os efetores estabelecem uma ação de controle de modo a contornar o desvio da variável controlada (PRECHT *et al.*, 1973, COLLIER *et al.*, 2012,

KURZ, 2008). As informações aferentes térmicas são assimiladas pelo hipotálamo anterior, ao passo que o hipotálamo posterior é responsável pelo estabelecimento das respostas efetoras (BRAZ, 2005).

Assim, o hipotálamo atua como centro do sistema termorregulador pois incumbe-se a ele a responsabilidade de processar a informação captada pelos termorreceptores localizados na pele e em tecidos mais profundos como a medula espinhal, órgãos abdominais e grandes veias. Os desequilíbrios térmicos induzem respostas termorregulatórias em diversos tecidos em prol da manutenção da homeotermia por meio do aumento ou diminuição da dissipação e produção de calor (ANDERSSON E JONASSON, 2006).

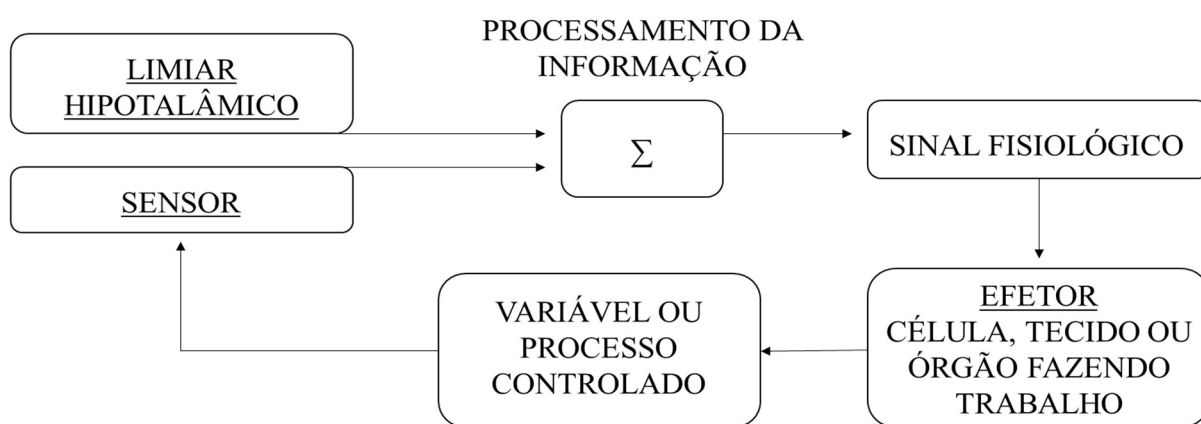


Figura 2 - Esquema básico dos sistemas de controle de feedback (COLLIER *et al.*, 2012)

Devido sua alta taxa metabólica decorrente da alta deposição proteica os suínos apresentam baixa capacidade em se termorregular. Além disso, possuem uma camada espessa de gordura subcutânea o que dificulta a troca de calor com o ambiente e, ao contrário dos demais mamíferos de produção, como equinos e bovinos, possuem uma camada de queratina na epiderme, responsável pelo bloqueio da abertura do ducto de suor das glândulas sudoríparas, o que acarreta a inativação e perda de função destas glândulas (RODRIGUES *et al.*, 2010). Renaudeau *et al.* (2006) avaliaram os efeitos da raça e da estação nas características histológicas da pele de suínos das raças Crioula e *Large White*, e relataram diferença na densidade de glândulas expressas entre as raças porém o período não influenciou esta medida. Ainda, estes autores encontraram valores médios de 30 glândulas sudoríparas/cm² no dorso destes animais, valor relatado por ele 10 a 100 vezes menor do que encontrado em bovinos.

As trocas sensíveis, condução, convecção e radiação, e as trocas latentes, sudorese (ineficiente em suínos) e evaporação são os mecanismos os quais os animais trocam calor com o ambiente. A eficiência das trocas sensíveis é, principalmente, dependente do gradiente de

temperatura entre o animal e o ambiente, mas também, fatores como a área da superfície de troca, a espessura e a condutividade térmica dos materiais podem influenciar a dimensão da troca. Na condução, objetos em contato tendem a equilibrar a sua temperatura através da troca de calor entre eles até que se estabeleça o equilíbrio. A convecção ocorre quando o calor de um fluido, de temperatura diferente, é difundido sobre o animal por correntes convectivas, como por exemplo o ar e a água e pode acontecer de forma natural ou forçada. A troca natural se dá pelo aquecimento do ar próximo à superfície cutânea e ocasiona a queda da densidade e movimento do ar superficial à pele. Já a convecção forçada é crucial para o movimento do calor interno, visto que, por meio do aumento do fluxo sanguíneo periférico o animal perde calor para o ambiente. Por fim, a radiação, que é a emissão de calor por ondas eletromagnéticas através do meio sem que esse se aqueça. Esta via não necessita do contato entre os corpos para que haja troca (COLLIER *et al.*, 2012, SPIERS, 2012).

Em consequência da dependência de um gradiente de temperatura, as trocas de calor sensíveis se tornam menos eficientes à medida que a temperatura ambiente se aproxima da temperatura cutânea (RENAUDEAU *et al.*, 2012). A perda de calor latente é a segunda via utilizada por homeotérmicos para dissipar calor. Em suínos tal perda ocorre por meio da evaporação da água do trato respiratório e baseia-se na perda de calor para o ambiente através do aquecimento e mudança de estado da água. Ao contrário da troca sensível, a perda de calor latente não depende de um gradiente de temperatura e sim da pressão de vapor de água do ambiente. Assim, a alta umidade relativa reduz as perdas evaporativas, uma vez que aumenta a pressão de vapor de água do ambiente e reduz a sua capacidade de receber mais partículas de água (COLLIER *et al.*, 2012).

O diagrama do perfil termorregulatório proposto por Mount (1974, figura 3), relaciona o balanço entre a produção, a troca sensível e a perda latente de calor de acordo com alterações na temperatura ambiente. Os extremos do diagrama (pontos A e E do diagrama) são os pontos em que a temperatura ambiente é crítica para a manutenção da homeotermia, assim, nestes pontos o animal não consegue mais conservar a sua temperatura interna e essa hipertermia ou hipotermia graves podem ser letais (COLLIER *et al.*, 2012, RENAUDEAU *et al.*, 2012).

A zona de termoneutralidade (faixa C do diagrama) é a faixa de temperatura a qual o animal possui a maior disponibilidade de energia para seu crescimento e produção. Esta faixa varia de acordo com a espécie, idade e estágio fisiológico do animal (TABELA 1). Dentro desta, a mobilização de recursos fisiológicos e nutricionais para a termorregulação é baixa, assim há

um equilíbrio entre animal e ambiente (COLLIER *et al.*, 2012). Ademais, Bligh e Johnson (1973) definiram a zona de termoneutralidade como: “A faixa de temperatura ambiente dentro da qual a taxa metabólica é mínima e dentro da qual a regulação da temperatura é alcançada apenas por processos físicos não evaporativos”. A zona de termoneutralidade é delimitada em suas extremidades pelas temperaturas críticas inferior (TCI, B’; FIGURA 3) e superior (TCS, C’; FIGURA 3).

A TCI é a temperatura ambiente abaixo da qual o animal aumenta a sua termogênese através do aumento da taxa metabólica em repouso com intuito de se termorregular. Já a TCS é a temperatura ambiente acima da qual o animal aumenta a taxa de perda de calor por evaporação para reduzir a carga térmica e manter a sua temperatura corporal constante (BLIGH AND JOHNSON, 1973, IUPS THERMAL COMMISSION, 2001).

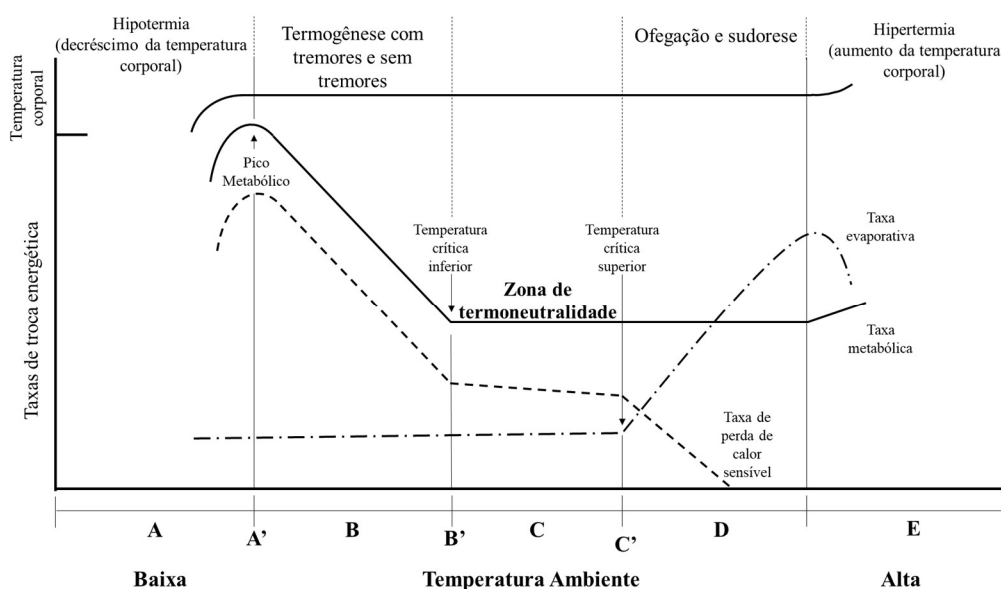


Figura 3 - Esquema do perfil termorregulador da temperatura corpórea e das rotas de troca de energia em função da temperatura ambiente (MOUNT, 1974)

A partir do pico metabólico (A', FIGURA 3), a perda de calor sensível é menor do que a produção de calor e permanece desta forma até a TCI. Além disso, a soma entre as trocas sensíveis e as perdas latentes de calor devem se igualar com a produção de calor metabólico ao passo que a temperatura corpórea permaneça constante dentro desta faixa. Assim, há uma relação inversamente proporcional entre as trocas sensíveis e a temperatura ambiente, haja visto que, tais trocas crescem a uma taxa regular com o resfriamento do ambiente abaixo da TCI. De tal modo, a exposição do animal a uma temperatura ambiente abaixo da sua TCI acarreta um aumento das trocas sensíveis, pois eleva o gradiente térmico entre as temperaturas do corpo

e do ambiente e para contornar esta situação o suíno aumenta a produção de calor (COLLIER *et al.*, 2012).

Assim, como a TCI, a TCS é também um dos limites do ajuste do isolamento térmico do animal e é onde inicia-se a ativação dos mecanismos de perda de calor latente. O aumento da temperatura ambiente além desta ocasiona a queda na eficiência da perda de calor sensível com um correspondente aumento na perda de calor por evaporação (ofegação). A partir deste ponto, a regulação da temperatura é mantida por meio do equilíbrio entre a perda de calor por evaporação e a menor produção de calor metabólico (COLLIER *et al.*, 2012).

Tabela 1 - Condições térmicas recomendadas para suínos em diferentes categorias.

	Zona de termoneutralidade	Extremo inferior	Extremo superior
Porca em lactação	15 a 26 °C	15 °C	32 °C
Leitegada pré- desmame	32°C (escamoteador)	25°C	-
Creche, 15 - 35 kg	18 a 26 °C	5°C	35°C
Crescimento, 35 - 70 kg	15 a 25 °C	-5°C	35°C
Terminação, 70 - 100 kg	10 a 25 °C	-20°C	35°C
Reprodutores, >100 kg	10 a 25 °C	-20°C	32°C

Adaptado de *Federation of Animal Science Societies* (2010)

2.2.1 Mecanismos de adaptação ao estresse por calor

Dentro da zona de termoneutralidade os suínos conservam a sua temperatura interna por meio das trocas sensíveis de calor. A taxa com que ocorre a perda de calor sensível é mínima dentro desta zona, uma vez que, o animal por meio de processos comportamentais (buscam sombra, lugares molhados, expor-se ao vento, aumentam a ingestão de água), fisiológicos (vasodilatação periférica, acamação de pelos) e metabólicos (redução dos hormônios tireoidianos e cortisol) ajustam a sua temperatura interna (BIANCA, 1968, COLLIER *et al.*, 2012). As adaptações comportamentais são as respostas termorregulatórias mais eficientes, posto que os animais não necessitam do dispêndio energético para se termorregular, apenas alterações em seu comportamento são suficientes (BRAZ, 2005).

O processo de aclimação dos suínos a alta temperatura ambiente é caracterizada por um perfil bifásico baseado no tempo de exposição. A aclimação térmica à curto prazo (24-48 horas) é descrita por um aumento das temperaturas cutânea (trocas sensíveis) e retal, e também da frequência respiratória (perda latente de calor), juntamente com uma queda no consumo. Já a aclimação térmica à longo prazo ocorre após as primeiras 48 horas de exposição, e baseia-se em uma diminuição gradual das respostas termorregulatórias até valores constantes atreladas a uma menor ação dos hormônios da tireoide e do cortisol (RENAUDEAU *et al.*, 2010, CAMPOS *et al.*, 2017).

2.2.1.1 Adaptações fisiológicas

Quando o hipotálamo indica o aumento na temperatura corporal, impulsos são enviados ao córtex cerebral conferindo a sensação de calor. Após a ineficácia das respostas comportamentais as respostas fisiológicas são então acionadas. Este mecanismo envolve um baixo custo para o animal e abrange diferentes vias. A vasodilatação periférica, o aumento da frequência respiratória, da temperatura da pele, e a redução no metabolismo basal, energético e no consumo de alimentos são exemplos de adaptações fisiológicas adotadas pelos suínos frente ao aumento da temperatura ambiente (BRAZ, 2005, RODRIGUES *et al.*, 2010, TABELA 2).

Autores têm utilizado as temperaturas retal e cutânea, e a frequência respiratória como parâmetros fisiológicos para avaliar o estresse por calor em suínos. Embora a temperatura retal seja apenas um indicador de temperatura interna do animal, esta não é considerada como uma resposta termorregulatória, porém é utilizada como índice de adaptação fisiológica do animal ao ambiente térmico. Assim, um aumento em seus valores está associado a uma incapacidade do animal em se termorregular, o que indica uma ineficiência dos mecanismos adaptativos ao calor (CAMPOS *et al.*, 2014).

A temperatura cutânea, ao contrário da retal, é um indicador de resposta termorregulatória, pois a pele é o órgão responsável pelas trocas de calor entre animal e ambiente. O aumento da temperatura cutânea em animais sob altas temperaturas deve-se ao aumento da irrigação periférica resultado da vasodilatação e acréscimo do fluxo sanguíneo neste tecido (MOUNT, 1974, RENAUDEAU *et al.*, 2008). Devido à queratinização das glândulas sudoríparas os suínos não suam, e a ofegação torna-se o recurso mais eficiente para esta espécie (RENAUDEAU *et al.*, 2008). Segundo Oliveira Neto *et al.* (2001) a frequência respiratória é o primeiro indício de estresse por calor em suínos.

Campos *et al.* (2014) avaliaram os efeitos do estresse por calor sobre duas linhagens de suínos selecionadas para alto e baixo consumo alimentar residual. Estes autores concluíram que independente da linhagem, as temperaturas retal e cutânea e a frequência respiratória foram maiores quando os animais estavam sob alta temperatura ambiente. Kiefer *et al.* (2009), observaram aumento das variáveis fisiológicas em suínos machos castrados na fase de crescimento mantidos a 30°C em relação aos animais que estavam a 22°C.

Tabela 2 - Valores de temperaturas cutânea e retal, e frequência respiratórias apresentados por trabalhos prévios

Autores	Categoria	Faixa de temperatura (°C)	T. Cutânea (°C)	Frequência respiratória (m.p.m)	T. Retal (°C)
Huynh <i>et al.</i> , 2007	60Kg PV	16,0 – 32,0	34,1	136	-
Renaudeau <i>et al.</i> , 2007	50Kg PV	24,0 – 31,0	38,3	88	40
Kiefer <i>et al.</i> , 2010	70Kg PV	21,0 – 32,0	-	93	39
Campos <i>et al.</i> , 2014	40Kg PV	24,0 – 30,0	38	84	39,9

2.2.1.2 Adaptações neuroendócrinas ao estresse por calor

A resiliência do animal a alta temperatura ambiente exige complexas interações entre os sistemas termorregulatório e endócrino (BECKER *et al.*, 1997). Assim, quando a temperatura ambiente ultrapassa a TCS ocorre uma intensificação da perda de calor latente, acompanhada da queda do consumo voluntário e da atividade tireoidiana, desta forma, estabelece-se um comprometimento do animal em restringir a sua taxa metabólica, associada às funções digestivas. Segundo Berne *et al.* (2000), quando animais homeotérmicos estão sob condição de estresse por calor, a atividade hormonal da glândula tireoide desempenha papel crucial na aclimação, pois, a partir do controle hipotalâmico da secreção dos hormônios Triiodotironina (T3) e Tiroxina (T4) ocorre a redução do metabolismo e consequentemente menor produção de calor.

Os hormônios da tireoide estimulam o apetite e a lipogênese no fígado, aumentam a atividade cardiovascular, a lipólise e a gliconeogênese disponibilizando mais nutrientes e oxigênio para os tecidos (SILVA, 2006). De acordo com Habbeb *et al.* (1992) o hormônio T3 está diretamente ligado à termogênese nos homeotérmicos. Collin *et al.* (2005) sugerem que a ação termogênica dos hormônios tireoidianos ocorrem através da indução da biogênese mitocondrial e da atividade de elementos da cadeia respiratória. Assim, o aumento de hormônios tireoidianos na corrente sanguínea estimula o dispêndio energético por meio do desacoplamento da fosforilação oxidativa nas mitocôndrias. Campos *et al.* (2014) encontraram

níveis baixos de T3 e T4 em animais em estresse por calor, e sugeriram que esta redução está relacionada a uma tentativa do animal em diminuir a sua termogênese. Portanto, é possível observar uma relação entre a concentração de T3 e T4 na corrente sanguínea, a taxa metabólica e a produção de calor (SILVESTRI *et al.*, 2005, CAMPOS *et al.*, 2017).

O cortisol é um glicocorticoide do eixo hipotalâmico-pituitário-adrenal e o aumento dos seus níveis circulantes é uma das respostas não específicas mais comuns em animais em condições estressantes (BECKER *et al.*, 1997, SILANIKOVE, 2000). Sapolsky *et al.* (2000) argumentam que situações estressantes aumentam os níveis circulantes de cortisol e, conseqüentemente, a disponibilidade energética, pois, este hormônio estimula a secreção de adrenalina e noradrenalina que são estimuladores da lipólise, glicogenólise e gliconeogênese. Porém, no estresse por calor trabalhos têm divergido quanto ao comportamento deste hormônio.

Segundo Campos *et al.* (2017), o comportamento dos níveis de cortisol na corrente sanguínea de animais sob altas temperaturas está relacionado ao período de duração deste estresse (agudo ou crônico). No estresse por calor crônico os níveis de cortisol tendem a ser menores como demonstrado por Heo *et al.* (2005), Kim *et al.* (2009) e Campos *et al.* (2014). Por outro lado, no estresse agudo, autores tem relato uma inversão deste pressuposto (BECKER *et al.*, 1997).

Desta forma, através de adaptações comportamentais, fisiológicas e metabólicas os suínos mantêm a sua temperatura interna, porém, tais ajustes possuem efeitos negativos sobre o desempenho destes animais (QUINIOU *et al.*, 2001, RENAUDEAU *et al.*, 2011).

2.3 Consequências da alta temperatura ambiente no desempenho dos suínos

O controle do desempenho dos suínos é dependente do balanço entre o consumo de energia e o seu gasto. Animais homeotérmicos em condições de estresse térmico têm na termogênese um dos principais elementos do gasto de energia. Desta forma, um desequilíbrio que tende ao aumento da demanda energética leva a uma diminuição da performance destes animais devido ao desvio de nutrientes para funções outras àquelas associadas à produção (SILVESTRI *et al.*, 2005).

A redução no consumo voluntário é um dos principais artifícios utilizados para reduzir a carga térmica dos animais em condição de estresse por calor (COLLIN *et al.*, 2001, HUYNH *et al.*, 2005). Dentre as espécies domesticadas, a suína é a que apresenta a menor capacidade em se termorregular, assim, estes buscam na redução do consumo voluntário uma alternativa para diminuir sua produção de calor metabólico, devido a isto, em condição de

estresse por calor os suínos apresentam queda em seu desempenho (RENAUDEAU *et al.*, 2011).

Renaudeau *et al.* (2011) reportaram uma relação inversamente proporcional entre temperatura ambiente e consumo de ração (FIGURA 4). Ademais, narraram que este efeito tende a acentuar-se com o aumento do peso corporal do animal. Assim, o acréscimo de um grau na temperatura ambiente entre 24 e 30°C induz uma redução do consumo de alimento de 49 g.d⁻¹, 57 g.d⁻¹ e 64 g.d⁻¹ em suínos de 50Kg, 60Kg e 70Kg de PV, respectivamente. Redução de consumo também foi reportada por Le Dividich *et al.* (1998), Collin *et al.* (2001), Le Bellego *et al.* (2002) e Manno *et al.* (2006).

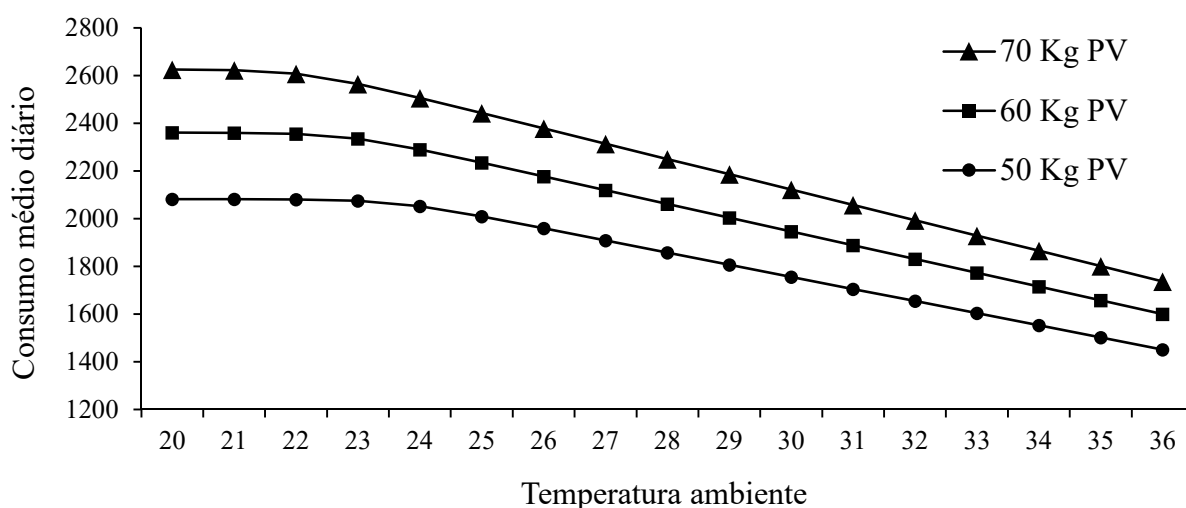


Figura 4 - Efeito da temperatura ambiente sobre o consumo de ração de suínos de 50Kg, 60Kg e 70Kg de peso vivo. Adaptado de Renaudeau *et al.*, 2011

A queda de desempenho em suínos submetidos à condição de estresse por calor é principalmente explicada pela redução no consumo voluntário. Assim, como para a ingestão de alimento, Renaudeau *et al.* (2011) relataram efeito negativo curvilíneo no ganho de peso de animais sob alta temperatura ambiente, que também é intensificada com o aumento do peso corporal (FIGURA 5). Segundo estes autores, cada grau de aumento de temperatura entre 24 e 30°C acarreta perda no ganho de peso de 26 g.d⁻¹, 28 g.d⁻¹ e 29 g.d⁻¹ em suínos de 50Kg, 60Kg e 70Kg de PV, respectivamente.

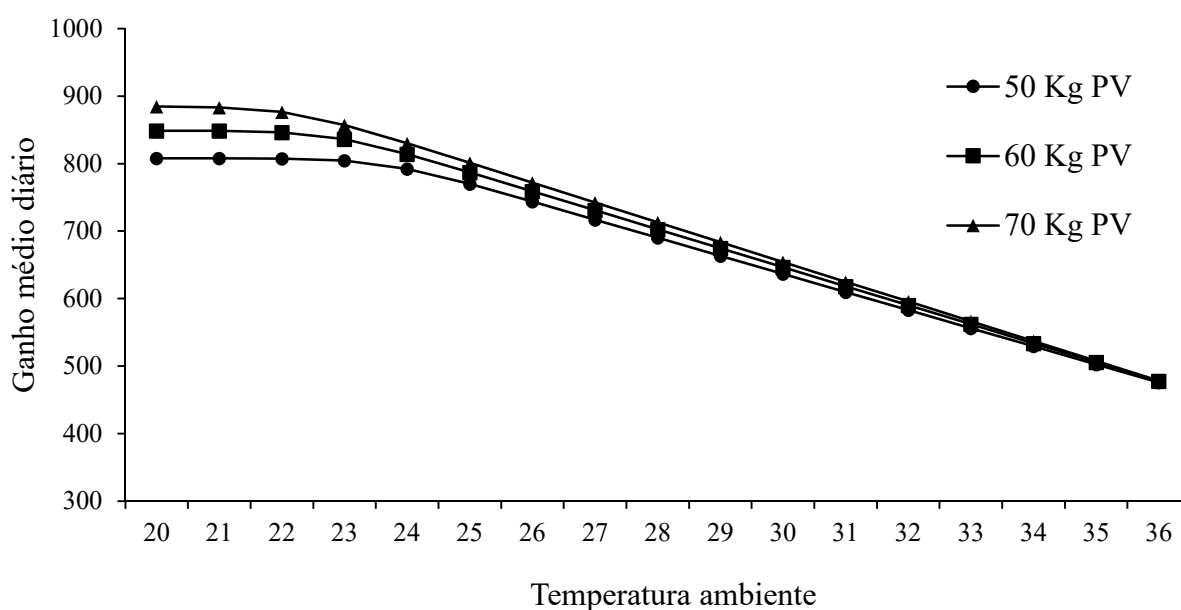


Figura 5 - Efeito da temperatura ambiente sobre o ganho médio diário de suínos de 50Kg, 60Kg e 70Kg de peso vivo. Adaptado de Renaudeau *et al.*, 2011

2.4 Estratégias para atenuar os efeitos da alta temperatura ambiente

A magnitude da resposta de um animal a alta temperatura ambiente é influenciada pela raça, peso e seu nível produtivo, além de fatores como a nutrição e a composição da dieta (RODRIGUES *et al.*, 2010).

Três medidas devem ser consideradas quando visa-se atenuar os efeitos das altas temperaturas sobre o desempenho e bem-estar dos suínos, são elas: 1) controle do ambiente térmico, 2) alterações na composição da dieta, 3) seleção de animais termotolerantes.

Tradicionalmente, os recursos utilizados para atenuar os efeitos das altas temperaturas sobre o desempenho de suínos baseiam-se em alterações realizadas artificialmente no ambiente. Tais modificações podem ser classificadas como primárias, quando são realizadas de modo a favorecer a perda de calor em um ambiente quente através da utilização de recursos naturais, localização das instalações, orientação e dimensões das instalações, cobertura, área circundante e sombreamento, dentre outros com baixo investimento, e secundárias, neste caso, há o emprego de sistemas artificiais (aquecedores, ventilação artificial, iluminação artificial).

Além disso, estratégias nutricionais também podem ser tomadas para diminuir os efeitos das altas temperaturas sobre o desempenho produtivo e reprodutivo dos suínos. Diferentes nutrientes possuem diferente incremento calórico, desta forma, modificações no conteúdo da dieta resulta em menor produção de calor associado ao metabolismo dos nutrientes

(FIALHO *et al.*, 2001). Estratégias como a diminuição do teor de fibra e aumento da densidade energética das dietas (LE BELLEGO *et al.*, 2002), restrição alimentar (RENAUDEAU *et al.*, 2012) e fornecimento de dietas líquida, são bons exemplos.

Outra alternativa é a seleção de genótipos mais adaptados a alta temperatura ambiente. As principais linhagens utilizadas em nosso país são majoritariamente provenientes de raças europeias e norte asiáticas, adaptadas às condições mais frias, assim, são animais que não foram selecionados para o clima brasileiro. Portanto, a inserção de animais de raças nativas nas linhagens comerciais pode ser uma alternativa para reduzir os efeitos do clima brasileiro sobre os suínos.

Linhagens comerciais tendem a ser mais sensíveis ao calor quando comparados aos genótipos nativos, devido à sua maior termogênese associada aos processos de manutenção e produção (GAUGHAN *et al.*, 1999). Renaudeau *et al.* (2007), em experimento que comparava suínos em crescimentos das raças Crioula e *Large White*, verificaram que, quando expostos à condição de estresse por calor (31°C), suínos nativos da raça Crioula apresentavam ativação das respostas termorregulatórias mais tardias com menor aumento da temperatura corporal quando comparados à suínos puros da raça *Large White*.

A diversidade genética admite a seleção de animais em respostas às adversidades contemporâneas, tais como, ressurgimento ou aparecimento de doenças, como é o caso da Peste Suína Africana, ou o aquecimento global, por meio da seleção de animais menos suscetíveis às ondas de calor (HOFFMAN, 2010). As raças suínas podem apresentar entre si diferenças na capacidade em se adaptar ao estresse por calor. Assim, os programas de melhoramento devem ser executados com o objetivo de aprimorar a adaptabilidade das linhagens atuais a alta temperatura ambiente, objetivando a seleção de animais mais produtivos em um país de clima tropical, como o Brasil.

2.5 Caracterização da raça naturalizada piau

Embora as raças nativas possuam desempenho inferior aos atuais genótipos comerciais, elas podem conter novas combinações alélicas com características desejáveis para a produção suínica brasileira frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas (BULOS, 2013, SOLLERO *et al.*, 2009). Ademais, podem apresentar características desejáveis como rusticidade, adaptabilidade e resistência a doenças.

A raça naturalizada Piau (FIGURA 6) foi introduzida pelos portugueses no início da colonização do Brasil e é originária da miscigenação entre raças chinesas e europeias. Este

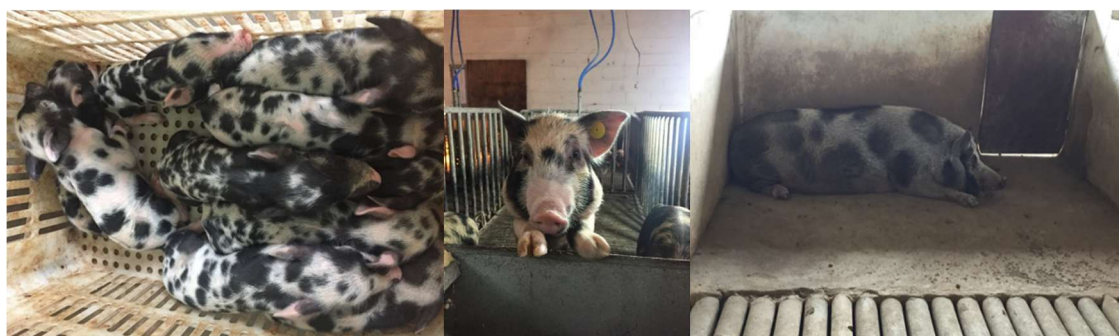
processo de mistura entre raças contribuiu para o desenvolvimento de um animal com alta aptidão para a produção de gordura, popularmente conhecido como “porco tipo banha” (BARROS *et al.*, 2012). Além disso, estes animais apresentam como principal característica morfológica a pelagem branca-creme com manchas pretas-amarronzadas. Também, possuem orelhas intermediárias entre ibéricas e asiáticas e perfil nasal retilíneo ou subcôncavo (SARCINELLI *et al.*, 2007).

No ano de 1939, a Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual de São Carlos, sob a supervisão do médico-veterinário Antônio Teixeira Vianna, iniciou um processo de seleção e melhoramento da raça suína Piau com o objetivo de fixar características de animais mistos, carne e banha (GOMES E D’ALUÍSIO, 1980). De acordo com Pereira (2004), a raça naturalizada Piau é a única raça existente dentre as raças suínas nacionais catalogadas com alto risco de extinção e possui um destaque em relação às demais raças nacionais. Contudo, devido à supremacia de desempenho apresentada pelas raças estrangeiras, as raças nacionais foram perdendo espaço no mercado suinícola brasileiro e, consequentemente, os estudos voltados para a caracterização desta atualmente são antigos e escassos (BARROS *et al.*, 2012).

De Souza Moreira *et al.* (1976) avaliou o desempenho e a característica da carcaça de suínos da raça naturalizada Piau e obtiveram um desempenho inferior e um maior conteúdo de gordura na carcaça de suínos Piau quando comparados aos genótipos melhorados. Para os parâmetros de desempenho estes autores relataram ganho diário de 0,469kg/dia. Para as características de carcaça, os autores encontraram valores de espessura de toucinho de 5,39cm e área do olho do lombo 18,12cm².

Este alto teor de gordura apresentado por estes animais pode ser desejável quando cruzamentos são realizados com intuito de agregar valor ao produto final e produzir uma carne suína com maior marmoreio (SOLLERO *et al.*, 2011). Além disso, cruzamentos entre raças nacionais e genótipos importados pode vir a ser uma alternativa para aumentar a rusticidade dos animais comerciais em vista das intempéries contemporâneas (BARROS *et al.*, 2012).

Portanto, o presente estudo parte do pressuposto que animais cruzados (fêmea comercial × macho raça Piau) possam ser mais eficientes na mobilização de recursos quando expostos a condições de estresse térmico pois podem apresentar menor ativação das respostas termorregulatórias quando comparada aos genótipos comerciais.



*Arquivo
pessoal*

Figura 6 - Exemplares de suínos naturalizados da raça Piau da Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão em Melhoramento de suínos da Universidade Federal de Viçosa

3 REFERÊNCIAS

- ANDERSSON, B. E., JONASSON, H. **Regulação da Temperatura e Fisiologia Ambiental**. DUKES. Fisiologia dos Animais Domésticos. 12ª edição, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE SUÍNOS (ABCS). **Mapeamento da suinocultura brasileira**. Brasília, DF, 2016. 376p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório anual 2018**. ABPA, 2018.
- BARROS, Maurício Hoshino da Costa *et al.* **Características quantitativas e qualitativas do sêmen in natura de suínos da raça Piau**. Rev Cient Eletrôn Med Vet, 2012.
- BECKER, B. Ann *et al.* **Endocrine and thermoregulatory responses to acute thermal exposures in 6-month-old pigs reared in different neonatal environments**. Journal of Thermal Biology, v. 22, n. 2, p. 87-93, 1997.
- BERNE M., Robert, LEVY N., Matthew, KOEPPEN M., Bruce, STANTON A., BRUCE. **Fisiologia**. 4ª ed. p. 785, Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S.A., 2000.
- BIANCA, W. **Thermoregulation. Adaptation of domestic animals**, p. 97-118, 1968.
- BLIGH, J. O. H. N., JOHNSON, K. Ga. **Glossary of terms for thermal physiology**. Journal of Applied Physiology, v. 35, n. 6, p. 941-961, 1973.
- BRAZ, José Reinaldo Cerqueira. **Fisiologia da termorregulação normal** Revista Neurociências, v. 13, p. 12-17, 2005.
- BRIDI, Ana Maria. **Efeitos do ambiente tropical sobre a produção animal**. 2010. Disponível em:
http://www.uel.br/pessoal/ambridi/Bioclimatologia_arquivos/EfeitosdoAmbienteTropicalsobreaProducaoAnimal.pdf. Acesso em: 02 de Fev. 2020.
- BULOS, Luiz Henrique Silva. **Perfil sorológico e virêmico de suínos da raça piau e linhagem comercial naturalmente infectados com o porcine circovirus 2 em diferentes fases de produção**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa.
- CAMPOS, Paulo Henrique Reis Furtado *et al.* **Thermoregulatory responses during thermal acclimation in pigs divergently selected for residual feed intake**. International journal of biometeorology, v. 58, n. 7, p. 1545-1557, 2014.
- CAMPOS, Paulo Henrique Reis Furtado *et al.* **Physiological responses of growing pigs to high ambient temperature and/or inflammatory challenges**. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 46, n. 6, p. 537-544, 2017.
- COLLIER, R. J., & COLLIER, J. L. (Ed.). **Environmental physiology of livestock**. Chichester: Wiley-Blackwell, 2012.
- COLLIN, Anne *et al.* **Effect of high temperature on feeding behaviour and heat production in group-housed young pigs**. British Journal of Nutrition, v. 86, n. 1, p. 63-70, 2001.

COLLIN, Anne *et al.* **Potential involvement of mammalian and avian uncoupling proteins in the thermogenic effect of thyroid hormones.** Domestic animal endocrinology, v. 29, n. 1, p. 78-87, 2005.

DE SOUZA MOREIRA, Amaury C. *et al.* **"Performance" e características da carcaça de suínos da raça piau.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 11, n. 5, p. 1-6, 1976.

DESA, U. N. **World Population Prospects 2019: Highlights.** New York (US): United Nations Department for Economic and Social Affairs, 2019.

EINER-JENSEN, N. *et al.* **Temperature gradients between the jugular vein blood and rectum in anaesthetized, intubated pigs.** Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, v. 82, n. 5, p. 305-310, 1999.

FEDERATION OF ANIMAL SCIENCE SOCIETIES (FASS). **Guide for the care and use of agricultural animals in research and teaching.** 2010.

FIALHO, Elias Tadeu, OST, Paulo Roberto, OLIVEIRA, V. **Interações ambiente e nutrição—estratégias nutricionais para ambientes quentes e seus efeitos sobre o desempenho e características de carcaça de suínos.** In: Conferência Internacional Virtual sobre Qualidade de carne suína. 2001. p. 351-359.

FIRST, Plenary Julia. **Global Warming of 1.5 C An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5 C Above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change. Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty.** <https://www.ipcc.ch/sr15/>, v. 1, 2019. Acesso em: 31 de Jan. 2020

GARCIA, S.K., BARBOSA, A.S. **Características etológicas, biométricas e seminais de varrões da raça Piau.** Arquivo Brasileiro de Veterinária e Zootecnia, v.46, n.3, p.279 – 289, 1994.

GAUGHAN, J. B. *et al.* **Heat tolerance of Boran and Tuli crossbred steers.** Journal of Animal Science, v. 77, n. 9, p. 2398-2405, 1999.

GOLLIN, Douglas, VAN DUSEN, Eric, BLACKBURN, Harvey. **Animal genetic resource trade flows: Economic assessment.** Livestock Science, v. 120, n. 3, p. 248-255, 2009.

GOMES, Marli de Bem, D'AULÍSIO, Sérgio Henrique Gouveia. **Estudo da prolificidade da raça suína Piau.** Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, v. 37, n. 1, p. 179-208, 1980.

HABBEB, A.A.M., MARAI, F.M., KAMAL, T.H. **Heat stress.** In: PHILIPS, C., PIGGINS, D. Farm animals and environment. Wallingford: CAB. International, 1992. p. 27-47.

HENCHION, M., HAYES, M., MULLEN, A. M., FENELON, M., & TIWARI, B. **Future Protein Supply and Demand: Strategies and Factors Influencing a Sustainable Equilibrium.** Foods (Basel, Switzerland), 6(7), 53. <https://doi.org/10.3390/foods6070053>, 2017.

HEO, J. *et al.* **Hepatic corticosteroid-binding globulin (CBG) messenger RNA expression and plasma CBG concentrations in young pigs in response to heat and social stress.** Journal of animal science, v. 83, n. 1, p. 208-215, 2005.

HOFFMANN, Irene. **Climate change and the characterization, breeding and conservation of animal genetic resources.** Animal genetics, v. 41, p. 32-46, 2010.

HUYNH, T. T. T. *et al.* **Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities.** Journal of animal science, v. 83, n. 6, p. 1385-1396, 2005.

HUYNH, T. T. T. *et al.* **Evaporative heat loss from group-housed growing pigs at high ambient temperatures.** Journal of Thermal Biology, v. 32, n. 5, p. 293-299, 2007.

IUPS THERMAL COMMISSION *et al.* **Glossary of terms for thermal physiology.** Jpn. J. Physiol. v. 51, p. 245-280, 2001.

KIEFER, Charles *et al.* **Resposta de suínos em crescimento mantidos em diferentes temperaturas.** Archivos de Zootecnia, v. 58, n. 221, p. 55-64, 2009.

KIEFER, Charles *et al.* **Respostas de suínos em terminação mantidos em diferentes ambientes térmicos.** Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, v. 11, n. 2, 2010.

KIM, B. G., LINDEMANN, M. D., CROMWELL, G. L. **The effects of dietary chromium (III) picolinate on growth performance, blood measurements, and respiratory rate in pigs kept in high and low ambient temperature.** Journal of animal science, v. 87, n. 5, p. 1695-1704, 2009.

KOONG, L. J., NIENABER, J. A., MERSMANN, H. J. **Effects of plane of nutrition on organ size and fasting heat production in genetically obese and lean pigs.** The Journal of nutrition, v. 113, n. 8, p. 1626-1631, 1983.

KURZ, Andrea. **Physiology of thermoregulation.** Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology, v. 22, n. 4, p. 627-644, 2008.

LE BELLEGO, L., VAN MILGEN, J., NOBLET, J. **Effect of high temperature and low-protein diets on the performance of growing-finishing pigs.** Journal of animal Science, v. 80, n. 3, p. 691-701, 2002.

LE DIVIDICH, J. *et al.* **Thermoregulation.** Progress in pig science, p. 229-263, 1998.

MANNO, M. C. *et al.* **Efeitos da temperatura ambiente sobre o desempenho de suínos dos 30 aos 60 kg.** Revista Brasileira de Zootecnia, v. 35, n. 2, p.471-477, abr. 2006. Fap UNIFESP (SciELO).

MOUNT, L. E. **The concept of thermal neutrality. Heat loss from animals and man,** p. 425-439, 1974.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OECD). **Agriculture Statistics: OECD-FAO Agricultural Outlook** (Edition 2019). Disponível em: <https://data.oecd.org/agroutput/meat-consumption.htm>. Acesso em: 27 de Mar. 2020.

OLIVEIRA NETO, A. R. *et al.* **Exigência de metionina + cistina para frangos de corte mantidos em ambiente de estresse de calor.** Anais da XXXVIII Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Piracicaba-SP: SBZ, 2001.

ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM). **What is Climate?**. 2019. Disponível em: http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/faq/faq_doc_en.html#top. Acesso em: 02 de Fev. 2020.

PERDOMO, C. C. *et al.* **Considerações sobre edificações para suínos.** Curso de atualização sobre a produção de suínos, v. 4, 1985.

PEREIRA, JCC. **Melhoramento Genético Aplicado à Produção Animal.** 3. edição. Belo Horizonte–MG: FEP–MVZ, 2004.

PRECHT, Herbert *et al.* **Principles of thermoregulation.** In: Temperature and Life. Springer, Berlin, Heidelberg, 1973. p. 521-527.

QUINIOU, Nathalie *et al.* **Modelling heat production and energy balance in group-housed growing pigs exposed to low or high ambient temperatures.** British Journal of Nutrition, v. 85, n. 1, p. 97-106, 2001.

RENAUDEAU, David, LECLERCQ-SMEKENS, Michèle, HERIN, Michel. **Differences in skin characteristics in European (Large White) and Caribbean (Creole) growing pigs with reference to thermoregulation.** Animal Research, v. 55, n. 3, p. 209-217, 2006.

RENAUDEAU, D., HUC, E., NOBLET, J. **Acclimation to high ambient temperature in Large White and Caribbean Creole growing pigs.** Journal of animal science, v. 85, n. 3, p. 779-790, 2007.

RENAUDEAU, D. *et al.* **Effect of temperature level on thermal acclimation in Large White growing pigs.** Animal, v. 2, n. 11, p. 1619-1626, 2008.

RENAUDEAU, D. *et al.* **Effect of temperature on thermal acclimation in growing pigs estimated using a nonlinear function.** Journal of animal science, v. 88, n. 11, p. 3715-3724, 2010.

RENAUDEAU, D., GOURDINE, J. L., ST-PIERRE, N. R. **A meta-analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing-finishing pigs.** Journal of Animal Science, v. 89, n. 7, p. 2220-2230, 2011.

RENAUDEAU, D. *et al.* **Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production.** Animal, v. 6, n. 5, p. 707-728, 2012.

RINALDO, Dominique, LE DIVIDICH, J., NOBLET, J. **Adverse effects of tropical climate on voluntary feed intake and performance of growing pigs.** Livestock Production Science, v. 66, n. 3, p. 223-234, 2000.

RODRIGUES, Nair Elizabeth Barreto, ZANGERONIMO, M. G., FIALHO, E. T. **Adaptações fisiológicas de suínos sob estresse térmico.** Revista Eletrônica Nutritime, v. 7, p. 1197-1211, 2010.

ROSEGRANT, Mark W. *et al.* **Global food projections to 2020: emerging trends and alternative futures.** International Food Policy Research Institute, 2001.

SAPOLSKY, Robert M., ROMERO, L. Michael, MUNCK, Allan U. **How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions.** Endocrine reviews, v. 21, n. 1, p. 55-89, 2000

SARCINELLI, M. F., VENTURINI, K. S., SILVA L. C. **Produção de suínos- Tipo carne.** Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Pró- Reitoria de Extensão – Programa institucional de Extensão. Boletim Técnico – PIE – UFES: 00507 – Editado: 25.05.2007.

SILANIKOVE, Nissim. **Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants.** Livestock production science, v. 67, n. 1-2, p. 1-18, 2000.

SILVA, J. Enrique. **Thermogenic mechanisms and their hormonal regulation.** Physiological reviews, v. 86, n. 2, p. 435-464, 2006.

SILVESTRI, E. *et al.* **Thyroid hormones as molecular determinants of thermogenesis.** Acta Physiologica Scandinavica, v. 184, n. 4, p. 265-283, 2005.

SOLLERO, B. P. *et al.* Genetic diversity of Brazilian pig breeds evidenced by microsatellite markers. Livestock Science, v. 123, n. 1, p. 8-15, 2009.

SOLLERO, B. P. *et al.* Transcriptional profiling during foetal skeletal muscle development of Piau and Yorkshire–Landrace cross-bred pigs. Animal genetics, v. 42, n. 6, p. 600-612, 2011.

SPIERS, Donald E. **Physiological basics of temperature regulation in domestic animals.** Environmental physiology of livestock, p. 17-34, 2012.

ST-PIERRE, N. R., COBANOV, B., SCHNITKEY, G. **Economic losses from heat stress by US livestock industries.** Journal of dairy science, v. 86, p. E52-E77, 2003.

ARTICLE:

4 THERMOREGULATORY RESPONSES AND PERFORMANCE OF COMMERCIAL AND CROSSBRED (PIAU BREED MALES × COMMERCIAL FEMALES) PIGS REARED UNDER THERMONEUTRAL AND HIGH AMBIENT TEMPERATURES

4.1 Introduction

Ambient temperatures above the thermoneutral zone for growing pigs (25 °C, RENAUDEAU et al., 2011) is a source of huge financial loss in pig production systems by affecting reproduction, performance, and welfare of pigs (KIM et al., 2018; GOURDINE et al., 2019; MAYORGA et al., 2019). The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2018) predicted a rise in global temperature at about 1.5 °C by 2052, which may potentially increase the negative effects of heat stress on pig production. Besides, genetic selection for intensive growth and productivity has resulted in increased metabolic heat production and consequently increased susceptibility to heat stress (RENAUDEAU et al., 2012).

A special attention has been taken to the development and adoption of environmental, nutritional and/or genetic strategies to attenuate the negative effects of high ambient temperatures. Genetic improvement seems to be a more consistent strategy since it can produce a permanent and intrinsic animal adaptation (OSEI-AMPONSAH et al., 2019) with no transient extra costs.

Heat-tolerant animals are those that, under high ambient temperature, maintain homeothermy without productive and reproductive losses (CARABANÑO et al., 2019). Renaudeau et al. (2007) demonstrate that Caribbean Creole pigs (local tropical breed) are more heat adapted than Large White. In addition, Rosé et al. (2017) and Gourdine et al. (2019) showed genetic variation in thermotolerance of pigs, suggesting that this trait can be improved through selection.

The Brazilian native pig breed Piau is a lard-type breed characterized by rusticity, adaptability to challenging environmental conditions and resistance to diseases (MARIANTE et al., 2003, SOLLERO et al., 2009) but it shows decreased productive performance and muscularity, and increased subcutaneous and intramuscular fat when compared to commercial lines (SERÃO et al., 2011, VERONEZE et al., 2014). Therefore, the rationale of the study was to evaluate if the crossbred progeny of Piau pig breed with commercial dam line would have decreased activation of thermoregulatory responses when compared to commercial genotypes.

4.2 Materials and methods

All methods involving animal care and handling were in accordance with Brazilian Legislation on Animal Experimentation and Welfare, and experimental protocols were approved by the Institutional Ethics Commission on the use of Farm Animals of the Universidade Federal de Viçosa, MG, Brazil (protocol 27/2018).

Animals and experimental design

The study was conducted at the Pig Breeding Research Facility of the Universidade Federal de Viçosa. It included thirty-five barrows with average initial body weight of 70 ± 4.0 kg and 110 ± 5 days old. The research trial was done in a complete random design under 2×2 factorial scheme consisting of two ambient temperatures conditions: thermoneutral (22°C , TN) and high (30°C , HT) ambient temperatures, and two genetic groups: commercial (commercial sire line \times commercial dam line) and Piau crossbred (Piau breed sires \times commercial dam line) pigs. The trial was conducted using eight commercial barrows in each ambient temperature condition, nine Piau crossbred barrows at TN and 10 Piau crossbred barrows HT conditions, respectively. All Piau breed animals originated and belongs to the Piau Breed Genetic Conservation Program conducted since 1998 at the Universidade Federal de Viçosa.

According to their allocation (TN or HT), pigs were housed in climatic-controlled rooms in individual metal-slatted pens (0.80×1.60 m) with plastic slatted floor, equipped with semiautomatic feeders and nipple drinkers. In both climatic-controlled rooms, temperature control was performed by automated climate systems composed by electric heaters, infrared lamps, and a chiller cooling system. Ambient temperature in each room was monitored and recorded each 10 min using 100 a data logger (Klimalogg Pro, TFA Dosmann, Wertheim, Germany) located in the center of each room and at half the height of the body of the animals.

The experimental period lasted 21 days, which consisted in a 7-day adaptation period (from days -7 to -1) wherein pigs were kept at 24°C , and a subsequent 14-day experimental period (from days 1 to 14) wherein pigs were kept at 22°C (TN) or 30°C (HT). In both adaptation and experimental periods. Pigs had free access to water and to a corn and soybean meal-based diets (3280 kcal of ME/kg and 150 g of CP/kg) formulated to meet their nutritional requirements according to Rostagno et al. (2017).

Measurements and sampling procedures

The amount of feed that was provided and the leftovers were recorded daily to obtain the average daily feed intake (ADFI, g/d). Additionally, to obtain the average daily gain (ADG, g/d) and feed conversion rate (FCR, g/g), pigs were weighed without fasting at the beginning and end of the experimental periods on days -7, 1, and 15. Body and rectal (RT) temperatures and respiratory rate (RR) were measured at days -4, -2, 1, 2, 3, 5, 7, 9, 11, and 13 at 15:00 PM. Measurements performed during the adaptation periods aimed acclimate animals to the experimenter, instruments and measurements.

Measurements of RR were performed according to the following protocol previously described by Renaudeau et al. (2008): only in resting animals, RR was visually determined by counting flank movements over 15 seconds and values then corrected for one minute. Body temperature was measured through thermographic images of each pig using an infrared camera (C2 Flir, Flir Vision Systems, AB, Sweden) with 0.95 emissivity. Images were taken at a 1.0 m distance from the animal body at the level of the backline allowing them to be fully framed in the image. Captured images were processed using Flir tools software (Thermo Cam Research Pro 2.7, FLIR Vision Systems) in which temperature at the nape, dorsal and flank levels were measured (Figure 7). Finally, RT was measured using a clinical digital thermometer.

At days -1, 2, 9, and 15, between 07:00 and 08:00 AM, blood samples were collected from all animals via sinus orbital venipuncture in collection tubes with a coagulant for serum analysis. Serum was separated by centrifugation of coagulated blood, at 3000 rpm at 4 °C (refrigerated centrifuge) for 10 minutes. Serum samples were stored in micro tubes at -20 °C for further analysis of circulating levels of cortisol, total thyroxine (T4), and triiodothyronine (T3) by direct chemiluminescence method (Atellica™ IM Analyzer).

In the end of the experimental period, after 12 hours of fasting, all animals were slaughtered. Pre-harvest handling and slaughtering procedures were in accordance with good animal welfare practices. Carcasses were split in two identical longitudinally halves. The right-half carcasses were chilled at 4 °C for 24 h. After this period, a transversal cut at the 10th rib region was performed to assess the backfat thickness and loin eye area. Backfat thickness was measured using a digital caliper. To measure the loin eye area (LEA), the Longissimus Dorsi muscle was cleaned and its contour delimited. The LEA was calculated using the ImageJ software (version 1.51, National Institutes of Health, Bethesda, Maryland).

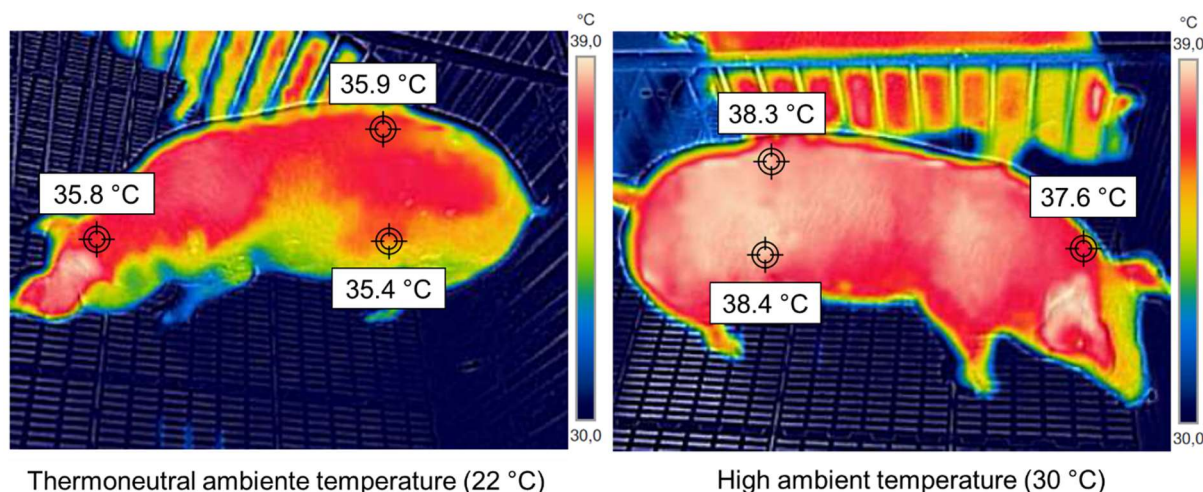


Figure 7 Graphical representation of nape, dorsal and flank body temperatures measured trough thermographic analysis in pigs reared under thermoneutral and high ambient temperatures

Statistical analyses

Performance and carcass parameters were analyzed under a general linear model using the software SAS (SAS 9.4 Software, SAS Institute Inc.) considering the fixed effects of the genetic group, ambient temperature, and their interaction. The individual pig was considered the experimental unit and the initial body weight was used as 149 a covariate for all performance and carcass variables.

Physiological and blood parameters were analyzed with a MIXED procedure (SAS 9.4 Software, SAS Institute Inc.), including the fixed effects of the genetic group, day of measurement, ambient temperature, and their interactions. The repeated measurement option was used with a compound symmetry covariance structure to account for animal effect over experimental days. Adjusted means were compared by Tukey test and effects considered significant if $p\text{-value} < 0.05$.

4.3 Results

Because of health problems and excessive feed spillage, data from five animals submitted to high ambient temperature (two commercial and three crossbred pigs) were not considered in the analysis. During the experimental period, the ambient temperature in thermoneutral and high ambient temperature climate-controlled rooms averaged 22.6 ± 1.8 °C and 29.4 ± 1.8 °C, respectively. These ambient temperature values were in accordance with the objectives of the experiment.

Growth performance and carcass parameters

Piau crossbred pigs had lower initial body weight (BW) than commercial pigs at the beginning of the trial (68.9 vs. 71.3 kg, respectively, $p < 0.01$). Therefore, initial BW was considered as a covariate for all performance and carcass variables. Table 3 shows the effects of ambient temperature on performance and carcass parameters of commercial and Piau crossbred pigs. No interaction ($p > 0.05$) between genetic group and ambient temperature was observed for any performance trait. Irrespective of ambient temperature, Piau crossbred pigs had similar ADFI (2658 g/d, on average, $p = 0.82$), lower ADG (672 vs. 947 g/d, $p < 0.01$) and worse FCR (4.17 vs. 2.95 g/g, $p < 0.01$) than commercial pigs. Irrespective of genetic group, pigs exposure to HT exhibited lower ADFI (-365 g/d, $p < 0.01$) and ADG (-211 g/d, $p < 0.01$) and worse FCR (+0.63 g/g, $p = 0.01$) than pigs in TN.

No interaction ($p > 0.05$) between genetic group and ambient temperature was found for backfat thickness, whereas it was significant ($p = 0.01$) for LEA. Regardless of ambient temperature, Piau crossbred pigs had greater backfat thickness than commercial pigs (24.2 vs. 17.0 mm, $p < 0.01$), whereas it was not influenced by ambient temperature (20.5 mm, on average, $p = 0.67$). In terms of LEA, it was not affected by ambient temperature in Piau crossbred pigs (29.14 cm² on average, $p = 0.99$), whereas it was greater at TN than at HT conditions in commercial pigs (39.40 vs. 32.52 cm², $p < 0.01$). Commercial pigs at HT presented LEA similar to Piau crossbred pigs ($p > 0.05$).

Table 3 - Effects of ambient temperature on performance and carcass parameters of commercial and Piau crossbred (commercial dam line × Piau sire) pigs (least-square means of eight and six observations of commercial pigs at 22 °C and 30 °C, and nine and seven observations of Piau crossbred pigs at 22 °C and 30 °C, respectively).

	Commercial		Piau Crossbred		RMSE ¹	Statistical Analysis ²		
	22 °C	30 °C	22 °C	30 °C		Gen	Temp	Gen×Temp
Initial body weight (kg)	71.8	71.1	70.3	68.3	2.1	<0.01	<0.01	0.62
Average daily feed intake (g/day)	2933	2512	2669	2346	287	0.82	<0.01	0.35
Average daily gain (g/day)	1015	773	724	596	193	<0.01	<0.01	0.39
Feed conversion rate (g/g)	2.96	3.55	3.75	4.11	0.87	<0.01	0.01	0.86
Final body weight (kg)	78.9	76.5	75.4	72.4	1.4	<0.01	<0.01	0.39
Carcass parameters								
Backfat thickness (mm)	17.3	16.6	24.5	23.8	4.4	<0.01	0.67	0.99
Loin eye area (cm ²)	39.40 ^a	32.52 ^b	29.08 ^b	29.20 ^b	3.16	<0.01	0.01	0.01

¹Root Mean-Square Error

²Data analyzed using the GLM procedure of SAS considering the fixed effects of genetic group (Gen), ambient temperature (Temp) and their interactions (Gen×Temp). Initial body weight as a covariate was significant for all variables ($p < 0.01$). Therefore, it was considered as a covariate for all performance and carcass variables.

^{a,b} means in the same row with different letters are statistically different ($p < 0.05$)

Thermoregulatory responses and blood parameters

Effects of ambient temperature on thermoregulatory responses of commercial and Piau crossbred pigs are shown in Table 4. Irrespective of ambient temperature, commercial pigs had greater ($p < 0.01$) dorsal (36.8 vs. 36.4 °C) and flank (37.1 vs. 36.7 °C) temperatures and tended to have greater rectal temperature (39.6 vs. 39.4 °C, $p = 0.06$) than Piau crossbred pigs. Irrespective of genetic group, pigs exposure to high ambient temperature resulted in increased ($p < 0.01$) nape (37.0 vs. 35.5 °C), dorsal (37.6 vs. 35.6 °C), flank (37.8 vs. 36.1 °C) and rectal temperatures (39.7 vs. 39.3 °C), and increased respiratory rate (107 vs. 70 bpm) compared to thermoneutral conditions. The pattern of these thermoregulatory responses is presented in Figure 8.

Effects of ambient temperature on blood parameters of commercial and Piau crossbred pigs are shown in Table 4. Interaction between genotype, ambient temperature and day was observed for circulating levels of total T3 and T4 (FIGURE 9). Total T3 and T4 concentrations were not affected by ambient temperature in commercial pigs, whereas Piau crossbred pigs kept at HT had lower T3 and T4 concentrations at day 2 ($p < 0.01$) than Piau crossbred at TN. Neither genotype, ambient temperature, nor their interaction affected ($p > 0.05$) serum cortisol concentrations.

Table 4 - Effects of ambient temperature on thermoregulatory responses and blood parameters of commercial and Piau crossbred (commercial line × Piau breed) pigs (least-square means of eight and six observations of commercial pigs at 22 °C and 30 °C, and nine and seven observations of Piau crossbred pigs at 22 °C and 30 °C, respectively).

	Commercial		Piau Crossbred		RSD ¹	Statistical Analysis ²			
	22 °C	30 °C	22 °C	30 °C		Gen	Temp	Gen×Temp	Gen×Temp×Day
Body surface temperature (°C)									
Nape	35.6	36.9	35.3	37.1	0.8	0.49	<0.01	0.08	0.18
Dorsal	35.8	37.7	35.3	37.4	0.6	<0.01	<0.01	0.31	0.07
Flank	36.3	37.9	35.8	37.6	0.7	<0.01	<0.01	0.27	0.16
Rectal temperature (°C)	39.4	39.8	39.2	39.6	0.2	0.06	<0.01	0.89	0.08
Respiratory rate (bpm ³)	71	105	69	110	19	0.83	<0.01	0.48	0.12
Blood parameters									
T ₃ (ng/mL)	0.73	0.71	0.74	0.59	0.13	0.07	<0.01	0.05	0.01
T ₄ (mcg/dL)	2.97	2.89	4.40	3.55	0.37	<0.01	0.03	0.07	<0.01
Cortisol (mcg/dL)	3.78	3.08	3.52	3.11	1.40	0.84	0.34	0.80	0.72

¹Residual Standard Deviation.

²Data analyzed using the MIXED procedure of SAS considering the effects of genetic group (Gen), ambient temperature (Temp), day and their interactions. Interaction (P<0.05) between Gen×Temp×Day was observed for T₃ and T₄ circulating levels, they are presented in Figure 3.

³Breaths per minute.

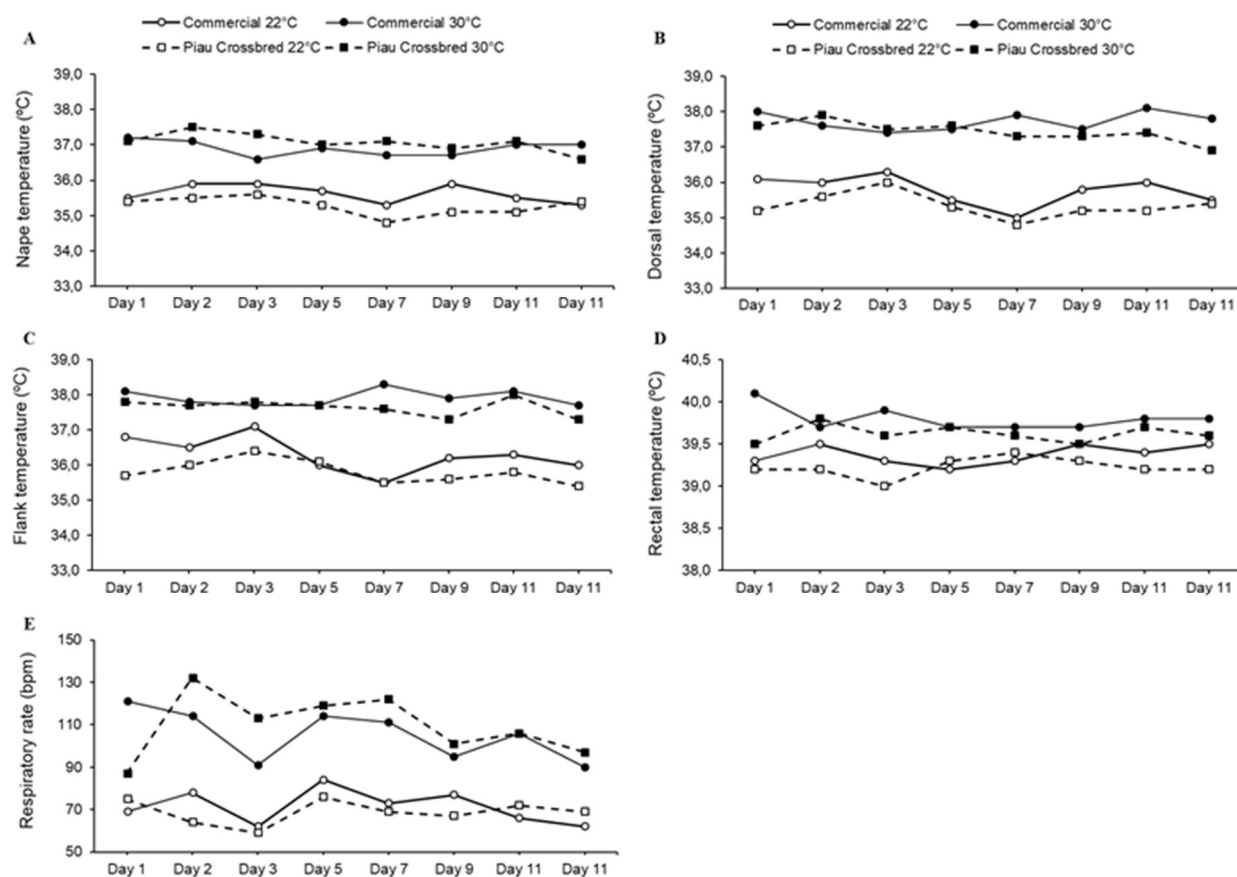


Figure 8 - Profile variation of nape (A), dorsal (B), flank (C) and rectal (D) temperatures, and respiratory rate (E) of commercial and Piau crossbred (commercial line \times Piau breed) pigs as a function of ambient temperature (least-square means of eight and six observations of commercial pigs at 22 °C and 30 °C, and nine and seven observations of Piau crossbred pigs at 22 °C and 30 °C, respectively)

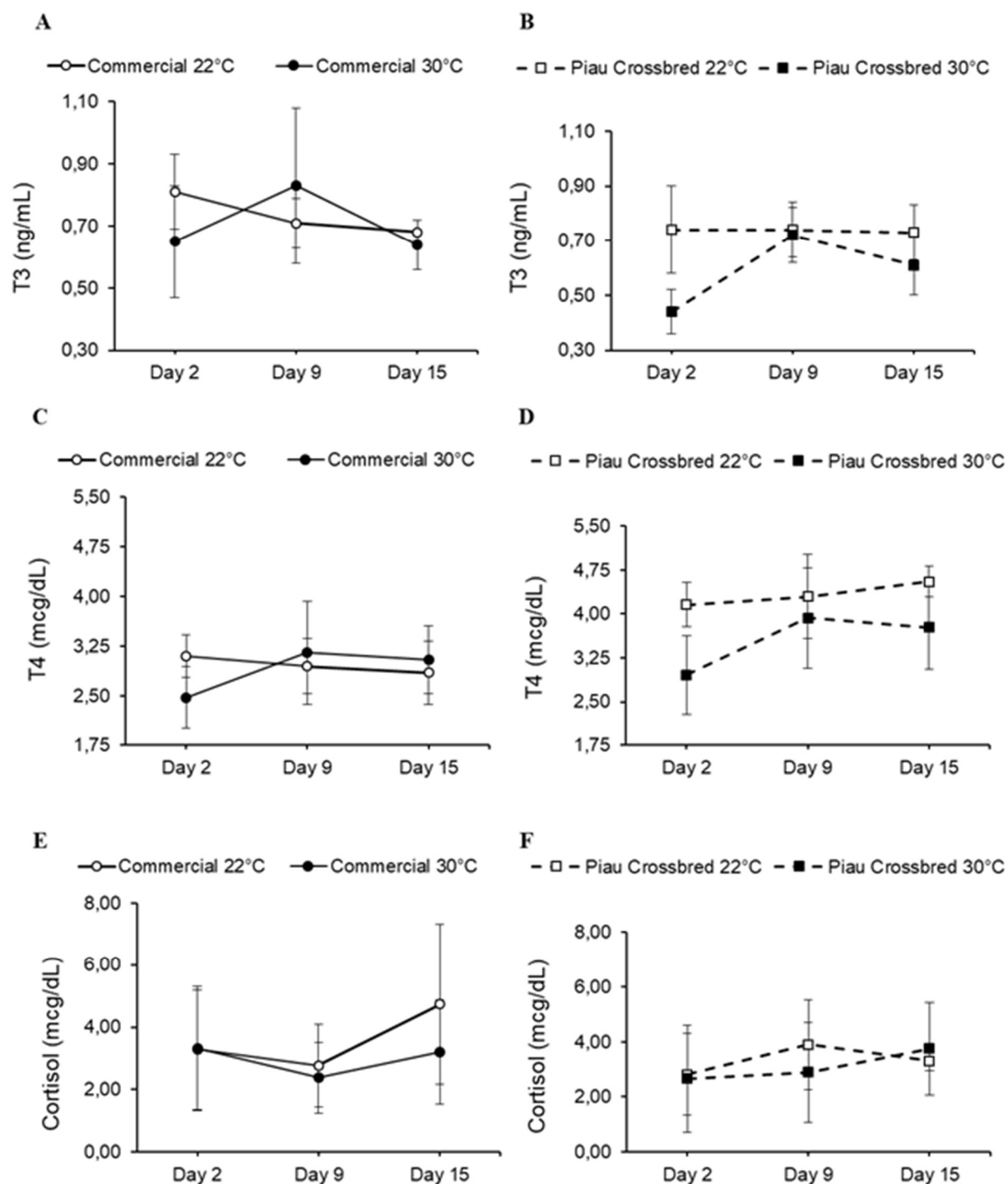


Figure 9 - Serum Triiodothyronine (A and B), Thyroxine (C and D) and Cortisol (E and F) concentrations of commercial and Piau crossbred (commercial line \times Piau breed) pigs as a function of ambient temperature. Each vertical bar is the least-square means of eight and six observations of commercial pigs at 22 °C and 30 °C, and nine and seven observations of Piau crossbred pigs at 22 °C and 30 °C, respectively. Within each graphic, least square means with different letters differ ($p < 0.05$) according to the day

4.4 Discussion

Among strategies to attenuate the negative effects of high ambient temperatures in pig production, the crossbreeding of genetically improved pig breeds with tropical adapted breeds has been suggested as strategy to select for thermotolerant genotypes (RENAUDEAU et al., 2012). The Brazilian native pig breed Piau is characterized by its rusticity, adaptability to challenging environmental conditions and resistance to diseases (MARIANTE et al., 2003, SOLLERO et al., 2009). Therefore, the rationale of the study was to evaluate if the crossbred progeny of Piau pig breed with commercial dam line have improved thermotolerance.

Irrespective of ambient temperature, Piau crossbred had lower growth performance (body weight gain and final body weight) than commercial pigs. Part of these results may be explained by the higher fat deposition and lower muscularity (LEA) of Piau crossbred than commercial pigs, irrespective of ambient temperature. Veloso et al., (2019) also reported decreased performance of Piau crossbred pigs compared with Duroc and Pietrain crossbreds pigs. Thus, our findings are in accordance with the previously reported decreased productive performance and high subcutaneous fat of Piau crossbred pigs (SERÃO et al., 2011, VELOSO et al., 2019).

These results were expected, since Piau breed is recognized by its high fat deposition (SERÃO et al., 2011, VERONEZE et al., 2014). Within the thermoneutral zone (15 to 25 °C for growing pigs, FEDERATION OF ANIMAL SCIENCE SOCIETIES, 2010), animals maintain homeothermy through behavioral and body insulation responses (vasodilation) that have negligible effects on metabolism and physiology (COLLIER et al., 2012, CAMPOS et al., 2017). However, when ambient temperature surpasses the upper limit of the thermoneutral zone extra thermoregulatory responses are activated that usually results in negative effects on growth performance (QUINIOU et al., 2000, RENAUDEAU et al., 2011). For instance, reducing feed intake at high ambient temperatures is an effective mechanism to reduce metabolic heat production associated with the thermic effect of feeding (QUINIOU et al., 2000, RENAUDEAU et al., 2007, MAYORGA et al., 2019). Therefore, reduced nutrients would be available for growth impairing the overall growth performance. Our results demonstrated that irrespective of genotype, HT resulted in a decrease of 365 and 211 g/d in feed intake and daily weight gain. Accordingly, Campos et al., (2014) reported a 49 and 53 g/d reduction in feed intake and daily weight gain in 50 kg growing pigs in an ambient temperature range of 24 to 30 °C. Furthermore, irrespective of genotype, high temperature resulted in worse feed conversion rate suggesting that the decreased growth performance at high temperatures

reported in our study was not exclusively associated to the reduction in feed intake but also a redistribution of nutrients to support the upper activation of thermoregulatory responses. As reported in other studies, increased energy requirement for maintenance due to panting (QUINIOU et al., 2000) and increased chemical reaction rates (BAUMGARD AND RHOADS 2013) occurs in pigs exposed to high ambient temperatures. Consistent with these findings, in our study pigs had a 53% increase in respiratory rate at high ambient temperature conditions.

Decreased lean and increased fat deposition were observed for crossbred Piau compared to commercial pigs. This somehow contradicts our hypothesis that the greater lean tissue deposition, growth rate and metabolic heat production of modern genotypes (BROWN-BRANDL et al., 2004) would result in increased susceptibility to heat stress and therefore greater magnitude of heat stress responses in commercial than Piau crossbred genotypes. These results are supported by the thermoregulatory responses in which no interaction between genotype and ambient temperature was reported for any studied trait. In fact, irrespective of genotype, pigs had higher body surface temperatures at 30 than at 24 °C which evidence increased peripheral circulation associated with cutaneous vasodilation to increase heat loss to the environment by the sensible pathways mainly conduction and convection (RENAUDEAU et al., 2012, MAYORGA et al., 2019). Interestingly, irrespective of ambient temperature, crossbred Piau pigs had lower dorsal and flank body temperatures than commercial pigs, which probably results from the greater insulation effect of the backfat.

As ambient temperature rises above the thermoneutral zone, the reduced gradient of temperature between the environment and the skin results in an inefficiency to dissipate heat by the sensible pathways (conduction, convection, and radiation). Therefore, animals must rely on evaporative heat losses to dissipate heat (RENAUDEAU et al., 2008). Because pigs have limited number of functional sweat glands, their main evaporative pathway is through the increase in respiratory rate (HUYNH et al., 2005, CAMPOS et al., 2014) which explains the higher respiratory rate of pigs kept at 30 than at 22 °C in our study. Despite of the activation of the thermoregulatory responses, increased rectal temperature was observed in response to high ambient temperature exposure which suggests an inefficiency and/or saturation of thermoregulatory mechanisms. Increased rectal temperature in pigs exposed to high ambient temperature was consistently described in previous studies (RENAUDEAU et al., 2007, CAMPOS et al., 2014).

In terms of blood parameters, heat acclimation involves complex interactions between the thermoregulatory and endocrine systems (BECKER et al., 1997). The thyroid gland

plays a crucial role in heat acclimation since it releases triiodothyronine and thyroxine hormones, which stimulate the metabolic rate and heat production by activating decoupling oxidative phosphorylation in mitochondria (SILVESTRI et al., 2005, CAMPOS et al, 2014). Therefore, heat acclimation comprises decreased thyroid gland activity. Accordingly, Kouba et al., (2001) reported a decrease in thyroid gland weight by 23% at 31 °C compared to pair-fed pigs reared at 20 °C. In addition, Zhang et al., (2020) reported lower triiodothyronine and thyroxine levels in 25 kg BW pigs when ambient temperature increased from 18 °C to 32 °C. Irrespective of genotype, our study shows that high ambient temperature results in an overall decrease in thyroid hormone concentrations. However, only Piau crossbred pigs were affected by the ambient temperature on day 2, which suggests that the thermoregulatory mechanism modifies according to the genetic of pigs. Evidently, the reduction of serum concentrations of thyroid hormones is an acclimation mechanism of pigs to avoid extra heat load, decreasing basal metabolic rate and thus heat production.

Cortisol is a glucocorticoid of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis and its increase has been used as an indicator of non-specific stress responses (LAN & KIM, 2018). Contradictory results have been reported in terms of cortisol response during heat stress. According to Campos et al., (2017), cortisol responses may vary according to the magnitude and duration of heat stress extent (acute or chronic). For instance, in moderate chronic heat stress conditions, cortisol levels tend to be reduced to avoid extra heat production associated to catabolic processes as described by Heo et al., (2005), Kim et al., (2009) and Campos et al., (2014). In the present study, neither ambient temperature nor the genotype influenced serum cortisol levels. The limited number of data and the high variation may be responsible for the lack of significance in the cortisol concentrations in our study.

4.5 Conclusion

Irrespective of ambient temperature, crossbred Piau pigs had decreased growth performance and loin eye area and increased lipid deposition when compared to commercial pigs. Despite of such differences, thermoregulatory and blood parameters were rather similar in both genotypes. Therefore, it seems that the progeny of Piau sires with commercial dam line do not exhibited great tolerance to high ambient temperatures.

4.6 References

- Baumgard L.H. & Rhoads Jr. R.P. **Effects of heat stress on post absorptive metabolism and energetics.** *Annu Rev Anim Biosci* 1(1):311-337. 2013
- Becker B.A., Klir J.J., Matteri R.L., Spiers D.E., Ellersiek M., & Misfeldt M.L. **Endocrine and thermoregulatory responses to acute thermal exposures in 6-month-old pigs reared in different neonatal environments.** *Journal of Thermal Biology*, 22(2), 87-93. 1997
- Brown-Brandl T.M., Nienaber J.A., Xin H., & Gates R.S. **A literature review of swine heat production.** *Transactions of the ASAE* 47(1):259. 2004
- Campos P.H.R.F., Floc'h L., Noblet J., & Renaudeau D. **Physiological responses of growing pigs to high ambient temperature and/or inflammatory challenges.** *Revista Brasileira de Zootecnia* 46(6):537-544. 2017
- Campos P.H.R.F., Noblet J., Jaguelin-Peyraud Y., Gilbert H., Mormède P., de Oliveira Donzele R.F.M., Donzele J.L. & Renaudeau D. **Thermoregulatory responses during thermal acclimation in pigs divergently selected for residual feed intake.** *International Journal of Biometeorology* 58(7):1545-1557. 2014
- Carabaño M.J., Ramón M., Menéndez-Buxadera A., Molina A., & Díaz C. **Selecting for heat tolerance.** *Animal Frontiers*, 9(1), 62-68. 2019
- Gourdine J.L., Riquet J., Rosé R. et al. **Genotype by environment interactions for performance and thermoregulation responses in growing pigs.** *Journal of animal science*, 97(9), 3699-3713. 2019
- Heo J., Kattesh H.G., Roberts M.P., Morrow J.L., Dailey J.W., & Saxton A.M. **Hepatic corticosteroid-binding globulin (CBG) messenger RNA expression and plasma CBG concentrations in young pigs in response to heat and social stress.** *Journal of animal science*, 348 83(1), 208-215. 2005
- Huynh T.T.T., Aarnink A.J.A., Verstegen M.W.A., Gerrits W.J.J., Heetkamp M.J.W., Kemp B., & Canh T.T. **Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidity.** *Journal of animal science*, 83(6):1385-1396. 2005
- Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. **Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.** World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp. 2018
- Kim B.G., Lindemann M.D., & Cromwell G.L. **The effects of dietary chromium (III) picolinate on growth performance, blood measurements, and respiratory rate in pigs kept in high and low ambient temperature.** *Journal of animal science*, 87(5), 1695-1704. 2009
- Kim K.S., Seibert J.T., Edea Z. et al **Characterization of the acute heat stress response in gilts: III. Genome-wide association studies of thermotolerance traits in pigs.** *Journal of animal science*, 96(6), 2074-2085. 2018
- Kouba M., Hermier D., & Le Dividich J. **Influence of a high ambient temperature on lipid metabolism in the growing pig.** *Journal of Animal Science*, 79(1), 81–87. 2001

- Lan R., & Kim I. **Effects of feeding diets containing essential oils and betaine to heat-stressed growing-finishing pigs.** *Archives of animal nutrition*, 72(5), 368-378. 2018
- Mariante A.S., Castro S.R.T., Albuquerque M.S.M., Paiva S.R., & Germano J.L. **Pig biodiversity in Brazil.** *Archivos de Zootecnia*, 52(198), 245-248. 2003
- Mayorga E.J., Renaudeau D., Ramirez B.C., Ross J.W., & Baumgard L.H. **Heat stress adaptations in pigs.** *Animal Frontiers* 9(1): 54-61. 2019
- McGlone J. **Guide for the care and use of agricultural animals in research and teaching.** Federation of Animal Science Societies. 2010
- Osei-Amponsah R., Chauhan S.S., Leury B.J., Cheng L., Cullen B., Clarke I.J., & Dunshea F.R. **Genetic selection for thermotolerance in ruminants.** *Animals*, 9(11), 948. 2019
- Quiniou N., Dubois S., & Noblet J. **Voluntary feed intake and feeding behaviour of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature and body weight.** *Livestock Production Science* 63(3):245-253. 2000
- Renaudeau D., Anais C., Tel L., & Gourdine J.L. **Effect of temperature on thermal acclimation in growing pigs estimated using a nonlinear function.** *Journal of Animal Science* 388 88(11):3715-3724. 2010
- Renaudeau D., Collin A., Yahav S., De Basilio V., Gourdine J.L., & Collier R.J. **Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production.** *Animal* 6(5):707-728. 2012
- Renaudeau D., Gourdine J.L., & St-Pierre N.R. **A meta-analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing-finishing pigs.** *Journal of Animal Science* 89(7):2220-2230. 2011
- Renaudeau D., Huc E., & Noblet J. **Acclimation to high ambient temperature in Large White and Caribbean Creole growing pigs.** *Journal of animal science* 85(3):779-790. 2007
- Renaudeau D., Kerdoncuff M., Anais C., & Gourdine J.L. **Effect of temperature level on thermal acclimation in Large White growing pigs.** *Animal* 2 (11):1619-1626. 2008
- Rosé R., Gilbert H., Loyau T. et al. **Interactions between sire family and production environment (temperate vs. tropical) on performance and thermoregulation responses in growing pigs.** *Journal of animal science*, 95(11), 4738-4751. 2017
- Rostagno H.S., Albino L.F.T., Hannas M.I. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais 4a Edição.** Viçosa/Departamento de Zootecnia, UFV, Viçosa, Brazil. 2017
- SAS - Statistical Analysis Software. SAS/STAT 9.1 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina. 2004
- Serão N.V.L., Veroneze R., Ribeiro A.M.F. et al. **Candidate gene expression and intramuscular fat content in pigs.** *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 128(1), 28-34. 2011
- Silva K.D.M., Paixão D.M., Silva P.V., Solero B.P., Pereira M.S., Lopes P.S., & Guimarães S.E.F. **Mapping of quantitative trait loci and confirmation of the FAT1 region on chromosome 4 in an F2 population of pigs.** *Genetics and Molecular Biology*, 31(2), 475-480. 2008
- Silvestri E., Schiavo L., Lombardi A., & Goglia F. **Thyroid hormones as molecular determinants of thermogenesis.** *Acta Physiologica Scandinavica*, 184(4), 265-283. 2005

Sollero B.P., Paiva S.R., Faria D.A., Guimarães S.E.F., Castro S.T.R., Egito A.A., Albuquerque M.S.M., Piovezan U., G.R. Bertani G.R. & Mariante A.S. **Genetic diversity of Brazilian pig breeds evidenced by microsatellite markers**. *Livestock Science*, 123, 8-15. 2009

Veloso R.D.C., Duarte M.D.S., Saraiva A., Guimarães S.E.F., Chizzotti M.L., Camargo E.G., & Lopes P.S. **Effects of nutritional plans and genetic groups on performance, carcass and meat quality traits of finishing pigs**. *Food Science and Technology*, 39(3), 538-545. 2019

Veroneze R., Lopes P.S., Guimarães S.E.F., Guimarães J.D., Costa E.V., Faria V.R., & Costa K.A. **Using pedigree analysis to monitor the local Piau pig breed conservation program**. *Archivos de Zootecnia*, 63(241), 45-54. 2014

Zhang S., Gao H., Yuan X., Wang J., & Zang J. **Integrative Analysis of Energy Partition Patterns and Plasma Metabolomics Profiles of Modern Growing Pigs Raised at Different Ambient Temperatures**. *Animals*, 10(11), 1953. 2020